Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON

ERNST LAMLA

BEIRAT:

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. J. DEUTICKE
H. v. FICKER · R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE †
A. KUHN · M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

43. JAHRGANG **HEFT 20** (ZWEITES OKTOBERHEFT) **1956**

INHALT:

AUFSÄTZE Seite

Zirkularbeschleuniger. Von P. KUNZE 457

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN

Strömungs- und Wärmeübergangsverhältnisse bei frei fallenden Rieselfilmen im Zustand der Verdampfung. Von W. LEIDENFROST 465

A New Electronic Concept of the Double Bond. Von L. SINGH 466

Zur Konstitutionsabhängigkeit der CH-Wagging-Bande substituierter p-Benzochinone. Von W. FLAIG und J. CHR. SALFELD 467

Lage der ν_{as}-CN_2- und der δ-NH-Schwingungen im Infrarotspektrum des symmetrischen Dimethylharnstoffs. Von H. J. BECHER und F. GRIFFEL 467

Sensibilisierte Phosphoreszenz und charge transfer-Fluoreszenz in organischen Molekelverbindungen. Von J. CZEKALLA . 467

Über Komplexe von Benzimidazolen mit Nickelsalzen. Von FR. HEIN und M. ZIMMERMANN 468

A Synthesis of 2:9-Dimethylpicene. Von D. NASIPURI 469

Organische Katalysatoren. Chelatkatalysen II. Von H. MIX 469

Verfahren zur Trennung und zum Nachweis flüchtiger Alkylamine. Von F. SCHMIDT und H.-U. BAURIEDL 470

Papierelektrophoretische Untersuchung der löslichen Proteide grüner Blätter in der Nähe ihrer isoelektrischen Punkte. Von W. KANNGIESSER 470

Das Studium der Überführung von Progesteron in Testolactone. Von A. ČAPEK, O. HANČ, K. MACEK, M. TADRA und E. RIEDL-TŮMOVÁ 471

Zur Beeinflussung der Zellgrenzflächenpermeabilität durch eine blutzuckersenkende Substanz (Nadisan). Von A. VOELKEL 471

Der Einfluß von Cyanid auf einige normale und neoplastische Gewebe. Von G. KELLNER, L. STOCKINGER, O. SUSCHNY, E. BRODA und P. UCCUSIĆ 472

Stimulierung der anaeroben Glykolyse durch das Virus der Hühner-Myeloblastose. Von A. GRAFFI, E. J. SCHNEIDER und G. SYDOW 472

Studien über exogene Aminosäuren im Eiweiß von Gerstencaryopsen unter dem Einfluß genetischer und ökologischer Faktoren. Von W. SCHUPHAN und W. POSTEL 473

Zur Kenntnis der Sexualstoffe bei Mucorineen. Von H. BURGEFF und M. PLEMPEL 473

Über die Wirkung von N-(4-Methyl-benzolsulfonyl)-N'-butylharnstoff auf die Glukose-6-Phosphatase der Leber alloxandiabetischer Ratten. Von W. KNITSCH und G. MOHNIKE . 474

Effect of Isoniazid on Catalase and Peroxidase of Tubercle Bacilli in vitro. Von M. O. TIRUNARAYANAN und W. A. VISCHER 474

Resistenz eines neuen Rattenimpftumors gegen Krebs-Chemotherapeutika. Von D. SCHMÄHL und TH. RIESEBERG . . . 475

Epileptiforme Krampfanfälle bei Ratten nach chronischer Vergiftung mit 4,4'-Dinitro-stilben. Von D. SCHMÄHL 475

Anaerobe Behandlung der Larven von *Chironomus plumosus* mit Stilben-TC. Von O. HARNISCH 476

Freilanduntersuchungen zur Aktivität, Ernährung und Leistung von *Geotrupes silvaticus* PANZ. Von A. DANZER 476

Nachweis der durch Fluor-Ionen gesteigerten Hydroxylapatit-Deckschichtenbildung auf Zahnoberflächen mit radioaktivem Phosphat. Von A. KNAPPWOST 477

Fortlaufende Bestimmung der Hautdurchblutung am Menschen mit einem neuen Wärmeleitmesser. Von H. HENSEL . . . 477

Über das Verteilungsmuster von Mitochondrien und Lipoidtropfen während der Furchung des Eies von Ilyanassa obsoleta (Mollusca, Prosobrachnia). Von A. C. CLEMENT und F. E. LEHMANN 478

Blütenbildung von Bryophyllum durch Gibberellin. Von R. BÜNSOW und R. HARDER 478

BESPRECHUNGEN

W. FINKELNBURG, Einführung in die Atomphysik. (Ref.: E. LAMLA) 480

F. SCHEFFER und P. SCHACHTSCHABEL, Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. (Ref.: E. SCHLICHTING) . . 480

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von **S. Flügge** und **F. Trendelenburg**, unter Mitwirkung von W. Bothe und F. Hund.
Neunundzwanzigster Band: Mit 162 Abbildungen. III, 397 Seiten Gr.-8°. 1956.
DM 72.—; Ganzleinen DM 75.20

Inhaltsübersicht: **Ionisation und Dissoziation von Gasen und Dämpfen durch Elektronenstoß.** Von H. Neuert, Hamburg. — **Inorganic Crystal Phosphors.** Von F. A. Kröger, Eindhoven/Holland. — **Bestimmung der charakteristischen Größen eines Halbleiters aus elektrischen, optischen und magnetischen Messungen.** Von G. Busch, Zürich, und U. Winkler, Zürich. — **Halbleitende Verbindungen mit vorwiegend homöopolarem Charakter.** Von H. Welker, Erlangen. — **Raumladungswellen.** Von W. Kleen, München, Jhs. Labus, München, K. Pöschl, München. — **Multiple Galaxies.** Von F. Zwicky, Pasadena (Calif.), USA. — **Inhalt der Bände XI—XXIX. — Namen- und Sachverzeichnis.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Eucken*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau", begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein, V. Meyer, B. Schwalbe, W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (bis 1948 Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft).

Die **„Naturwissenschaften"** erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11.25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 249251) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag
Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zeitschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,
(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel.: 59717.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Philosophie

Von **Karl Jaspers**, o. ö. Professor an der Universität Basel. Dritte Auflage, in drei Bänden.

I. Band: Nachwort (1955). **Philosophische Weltorientierung.** LVI, 340 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 24.—
II. Band: **Existenzerhellung.** XII, 440 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 25.—
III. Band: **Metaphysik.** VIII, 284 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 21.—

Die drei Bände sind einzeln käuflich. Ausführlicher Prospekt steht zur Verfügung.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

43. Jahrgang Heft 20 (Zweites Oktoberheft) 1956

Zirkularbeschleuniger

Von P. KUNZE, Rostock

1. Einleitung

Die Beschleunigungsanlagen zur Herstellung energiereicher Partikeln für die Kernphysik sind schon verschiedentlich dargestellt worden, z. B. in dem bekannten Buch von KOLLATH[1]). Im folgenden soll eine kurze Zusammenfassung über die Zirkularbeschleuniger gegeben werden, wobei das technische Detail übergangen und nur die physikalische Verwandtschaft der einzelnen Beschleunigertypen herausgestellt wird.

In beschränktem Umfang kommen energiereiche Partikeln an zwei Stellen in der Natur vor: bei der Radioaktivität und bei der kosmischen Strahlung. Die Energie der radioaktiven α- und β-Strahlen liegt bei einigen MeV. Ein Poloniumpräparat von $^1/_{1000}$ mg emittiert $1{,}6 \cdot 10^8$ α-Teilchen pro sec isotrop in den Raum. Bei Ausblendung eines engen Kegels kann man z. B. 10^6 α-Teilchen pro sec für Bestrahlungszwecke erhalten; die Intensität der radioaktiven Strahlung ist also beträchtlich. Der kernphysikalisch aktive Anteil der kosmischen Strahlung in der Stratosphäre ist um eine Anzahl Größenordnungen energiereicher und hat 10^9 eV und mehr. Die Intensität ist aber sehr klein und beträgt bei der primären kosmischen Strahlung pro Raumwinkeleinheit nur $\sim 10^{-1}$ Partikeln pro cm² sec.

Mit den Zirkularbeschleunigern kann man nicht nur die Energielücke zwischen Radioaktivität und kosmischer Strahlung überbrücken, sondern auch Strahlintensitäten herstellen, die selbst die stärksten radioaktiven Präparate weit in den Schatten stellen. Ein künstlich erzeugter Protonenstrahl von $\sim 0{,}1$ mA bedeutet $\sim 10^{15}$ Protonen pro sec, ist also milliardenmal so intensiv wie das α-Strahlbündel des obigen Poloniumpräparats.

2. Der Linearbeschleuniger

Das zwar nicht historische, aber sachliche Vorbild für den Zirkularbeschleuniger ist der Linearbeschleuniger, dessen Prinzip in Fig. 1 schematisch angedeutet ist. Links werden die Ladungsträger — wir nehmen Elektronen an — mit ~ 50 keV Energie eingeschossen, so daß sie bereits mit $\sim 40\%$ Lichtgeschwindigkeit in die zylinderförmigen Beschleunigungselektroden (in Wirklichkeit Hohlraumschwinger) eintreten. Die Elektroden liegen abwechselnd an Hochfrequenzspannung; die Polarität ist für einen gegebenen Moment eingetragen.

Durch die Hochfrequenz werden die Elektronen in Form einzelner Ladungswolken durch das Elektrodensystem unter dauernder Energiezunahme hindurchgesaugt. Der Raum in den Elektrodenzylindern ist feldfrei, die Beschleunigung findet jeweils in den Spalten zwischen den Elektroden statt. Die Länge L der Beschleunigungsstrecken, die Wellenlänge λ der Hochfrequenz und die jeweilige Fluggeschwindigkeit v der Ladungswolken müssen passend zusammenstimmen: $L = (\lambda/2)\beta$, wobei $\beta = v/c$. Wenn die Lichtgeschwindigkeit c praktisch erreicht ist ($\beta \approx 1$), haben alle folgenden Beschleunigungsstrecken gleiche Länge.

Fig. 1. Linearbeschleuniger schematisch. Die angegebene Polung und die Lage der Ladungswolken gilt für einen Moment der Hochfrequenzwechselspannung im Fall eines Elektronenstrahls

3. Zirkularbeschleuniger allgemein

Für große Partikelenergien benötigt der Linearbeschleuniger eine große Zahl von Elektroden. Beim Zirkularbeschleuniger wird der technische Aufwand dadurch verkleinert, daß man die Partikelbahn durch ein Magnetfeld senkrecht zu Fig. 1 zu einer Spirale, im Idealfall zu einem Kreis aufwickelt; man braucht dann nur eine oder zwei Elektroden.

Wir bringen zuvor einige Beziehungen für Partikeln der Geschwindigkeit v bzw. $\beta = v/c$ und der Ladung e:

Ruhenergie $E_0 = m_0 c^2$,

Gesamtenergie $E = mc^2 = m_0 c^2 / \sqrt{1-\beta^2}$,

kinetische Energie $E_k = E - E_0$,

relative kinetische Energie $\eta = E_k / E_0$,

Partikelgeschwindigkeit $v = c\sqrt{\eta^2 + 2\eta}/(1+\eta)$.

Bei der Kreisbahn vom Radius r im Magnetfeld der Stärke B gilt erstens die Gleichheit zwischen Zentrifugalkraft mv^2/r und LORENTZ-Kraft evB, also die Bahngleichung

$$v/r = e\,c^2\,B/E\,.$$

Zweitens muß die Synchronbedingung erfüllt sein, daß die Umlaufkreisfrequenz v/r gleich der elektrischen Kreisfrequenz $\omega = 2\pi\,\nu$ ist:

$$v/r = \omega, \text{ oder } r/v = \bar{\lambda}/c,$$

wenn $\bar{\lambda} = \lambda/2\pi$ = Kreiswellenlänge.

Führen wir die vorigen Ausdrücke für E und v ein, erhalten wir die Grundgleichungen für Zirkularbeschleuniger

$$\sqrt{\eta^2 + 2\eta} = \frac{ec}{E_0}\,r\,B \qquad \text{(Bahnbedingung)} \qquad (1)$$

$$\frac{\sqrt{\eta^2 + 2\eta}}{1+\eta} = \frac{r}{\bar{\lambda}} \qquad \text{(Synchronbedingung)} \qquad (2)$$

oder auch

$$1 + \eta = \frac{ec}{E_0}\,B\bar{\lambda} \quad [\text{Gl. (1) durch (2) dividiert}]. \qquad (3)$$

Die Gleichungen enthalten vier Variable: η, r, B, $\bar{\lambda}$. Die relative kinetische Energie η ist die abhängige Variable. Die drei anderen Variablen (Bahnradius r, Induktionsstärke B, Kreiswellenlänge $\bar{\lambda}$) sind zunächst

[1]) KOLLATH, R.: Teilchenbeschleuniger. Braunschweig: Vieweg 1955.

experimentell oder konstruktiv frei wählbar. Wegen der Grundgleichungen (1), (2), (3) bedingen sie sich aber wechselseitig, so daß die freie Wählbarkeit beschränkt ist. Die drei Typen der Zirkularbeschleuniger ergeben sich aus der Art, wie über die drei konstruktiven Variablen verfügt wird.

4. *Normalzyklotron*

Beim normalen Zyklotron setzt man gleich zwei von den drei Variablen konstant: man verlangt konstante Hochfrequenz ($\lambda = \lambda_0$) und räumliche wie zeitliche Konstanz des Feldes ($B = B_0$). Mathematisch ist es allerdings nicht möglich, beide Forderungen zugleich zu stellen, denn Gl. (3) nimmt dann die Form an

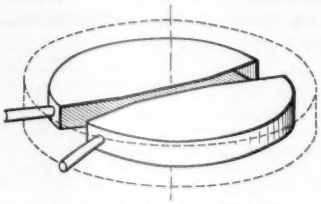


Fig. 2. Zyklotron-Dees mit Stromanschlußstutzen schematisch. Hochvakuumkammer punktiert

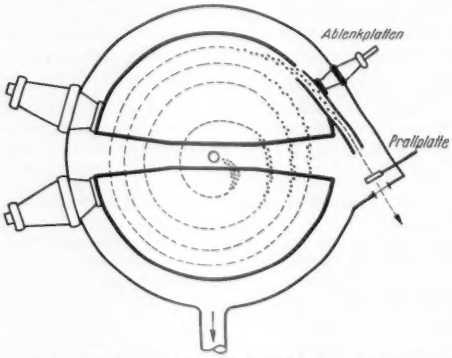


Fig. 3. Schematische Aufsicht auf ein Zyklotron. Im Zentrum die Ionenquelle. Die Bahnspirale hat in Wirklichkeit $\sim 10^3$ Umläufe. Die Lage der Ladungswolken auf den Spiralarmen ist angedeutet; wegen des relativistischen Massenzuwachses verspäten sich die äußeren Wolken zunehmend

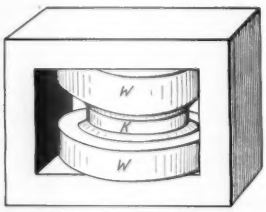


Fig. 4. Äußere Form eines Zyklotrons, schematisch. Auf den Polen des Gleichstrommagneten die Erregerwicklungen W; zwischen den Polen die Hochvakuumkammer K

$$1 + \eta = e\,c\,B_0\,\lambda_0/E_0 = \text{const}.$$

Da $\eta \neq \text{const}$ ist, kann dies nur näherungsweise gelten, solange

$$\eta \ll 1, \qquad \text{also} \qquad E_k \ll E_0$$

ist. Ein Zyklotronbetrieb mit konstanter Frequenz und Feldstärke ist also nur im extrem klassischen Bereich möglich, d.h. für $\eta < \sim 0{,}01$. Ein Elektronenzyklotron ($E_0 = 511$ keV) wäre somit wertlos, da es nur Elektronen von ~ 5 keV liefern könnte. Ein Ionenzyklotron ist dagegen sinnvoll. Die erreichbare Endenergie $E_{k\,\max} \approx 0{,}01\,E_0$ für Protonen ($E_0 = 938$ Me) beträgt ~ 10 MeV, für Deuteronen und α-Teilchen ~ 20 bzw. ~ 40 MeV, überschreitet also wesentlich die radioaktiven Energien (und auch Strahlintensitäten).

Für den Bahnradius r erhalten wir aus Gl. (1) und (2) im Falle $\eta \ll 1$ die Näherungsgleichungen

$$r \approx \frac{1}{ec}\frac{E_0}{B_0}\sqrt{2\eta}, \quad (1a) \qquad r \approx \lambda\sqrt{2\eta}, \quad (2a)$$

wobei $\eta \ll 1$ bzw. $E_k \ll E_0$ ist, also: extrem klassischer Fall.

Aus beiden Gleichungen folgt zunächst, daß der Radius r mit der Wurzel aus der relativen kinetischen Energie η anwächst. Die Ionenbahn im Zyklotron ist also eine nach außen enger werdende Spirale, wie in Fig. 3 schematisch angedeutet ist; genauer gesagt: die Bahn setzt sich aus Halbkreisen von wachsendem Radius zusammen.

Im übrigen ist der Bahnradius r, da wir gleich zwei Variable (B und λ) konstant setzen, durch Gl. (1a) und (2a) mathematisch überbestimmt. Wenn beide Gleichungen zugleich gelten sollen, sind B_0 und λ nicht unabhängig voneinander wählbar, sondern durch die Beziehung verknüpft

$$\lambda_0 = \frac{E_0}{ec}\frac{1}{B_0}. \quad (4)$$

Wenn wir also mit einer bestimmten Partikelsorte (d.h. mit einem bestimmten E_0) arbeiten und ein Feld der Stärke B_0 vorgeben, muß zur Erfüllung der Synchronbedingung auch eine bestimmte Hochfrequenz bzw. Kreiswellenlänge λ benutzt werden. Dies entspricht der bekannten Tatsache, daß im klassischen Fall die Umlauffrequenz einer geladenen Partikel in einem homogenen Magnetfeld unabhängig ist von der Partikelenergie E_k: der Bahnradius r ist proportional der Geschwindigkeit v, die Umlaufzeit $2\pi\,r/v$ also von v unabhängig. Die elektrische Frequenz muß dieser Umlauffrequenz gleich sein.

Fig. 2 bis 4 geben schematisch die Form des Zyklotrons. Von den zahlreichen Beschleunigungselektroden des Linearbeschleunigers werden nur zwei beibehalten; sie liegen an der beschleunigenden Hochfrequenz-Wechselspannung und haben die Gestalt einer flachen halbierten Dose. Wegen ihres D-förmigen Umrisses werden sie „Dee" (engl.) genannt. Die Dees befinden sich in einer flachen Hochvakuumkammer im Bereich des homogenen Magnetfeldes zwischen den Polschuhen des Magneten. Das Innere der Dees ist elektrisch feldfrei; der Beschleunigungsakt der positiven Ionen findet wie beim Linearbeschleuniger im Deespalt statt, wenn das Austritts-Dee positiv, das Eintritts-Dee negativ ist.

Die Ionen werden aus einer Ionenquelle im Zentrum eingeschossen und laufen dann unter dauernder Energiezunahme spiralig nach außen. Bei jeder zweiten Halbperiode saugt das Wechselfeld aus der Ionenquelle eine Wolke von Ionen heraus, so daß *jeder* Spiralarm mit einer Ionenwolke besetzt wird. Am Rande der Dees befindet sich (Fig. 3) der Ablenkkondensator, der die Ionen endgültig aus dem Magnetfeld herauszieht. Der Strahl wird dann von einem Target (= Zielscheibe) aufgefangen oder tritt durch ein dünnes Fenster aus dem Vakuum ins Freie.

Mit einem Eisenmagneten kann man ein Feld von etwa $10^4\,\Gamma$, also $B_0 = 1$ Vsec/m² bequem erreichen. Bei Protonen ($E_0/e = 938$ MV; $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec) ergibt sich dann nach Gl. (4) ein $\lambda\!\!\!^{-} = 3{,}13$ m bzw. eine Hochfrequenz $\nu = 1{,}5 \cdot 10^7$ Hz; bei schwereren Ionen ist die Frequenz entsprechend niedriger. Das Zyklotron stößt also $\sim 10^7$ Ionenwolken pro sec aus. Jede Wolke enthält $\sim 10^8$ Ionen; man erhält also einen Ionenstrahl von $\sim 10^{15}$ Ionen pro sec, entsprechend einer Stromstärke $J \sim 0{,}1$ mA.

Wenn wir das Feld mit $B_0 = 1$ Vsec/m² annehmen, steht die Größe des Protonenzyklotrons nach Gl. (1a) ziemlich eindeutig fest:

$$r_{\max} = \frac{1}{c}\,\frac{E_0/e}{B_0}\sqrt{2\eta_{\max}}\,.$$

Da das Zyklotron auf den klassischen Bereich ($\eta_{\max} \sim 0{,}01$) beschränkt ist, wird für Protonen ($E_0/e = 938$ MV) $r_{\max} = 0{,}44$ m, der Polschuhdurchmesser also etwa 1 m. In der Regel baut man die Zyklotrons mit $\sim 1{,}5$ m Polschuhdurchmesser und stellt bei Protonen ein $B_0 \sim 0{,}7$ Vsec/m² ein. Wenn man dann das Feld auf $B_0 \sim 1{,}4$ Vsec/m² verdoppelt, was technisch mit Eisen noch möglich ist, kann man mit dem gleichen Zyklotron bei gleicher Frequenz auch Deuteronenstrahlen erzeugen. Das Eisengewicht eines solchen Zyklotrons liegt bei 200 t.

Da die Synchronisierung zwischen Ionenumlauf und Frequenz nur genähert gilt, muß die Zahl N der Spiralumläufe relativ klein sein, damit sich die Abweichungen nicht zu stark aufsummieren. Man wählt daher $N \approx 1/\eta_{\max} \approx 10^2$. Dem $\eta_{\max} \approx 0{,}01$ entspricht bei Protonen eine Endenergie $E_{k\max} \approx 10$ MeV. Wenn dieses $E_{k\max}$ in ~ 100 Umläufen erreicht werden soll, müssen die Protonen pro Umlauf 100 keV Energiezunahme erfahren. Die Dee-Hochfrequenzspannung muß also von der Größenordnung 10^2 kV sein. Wegen dieser hohen Wechselspannung muß der Polschuhabstand ziemlich groß sein, damit keine elektrischen Überschläge auftreten.

Das Normalzyklotron besitzt gemäß seiner Funktionsweise keinerlei Synchronisierungszwang zwischen Ionenumlauf und Wechselfeld. Wenn die Ionenwolken unter Energiezunahme nach außen spiralisieren, macht sich allmählich die relativistische Massenzunahme bemerkbar; der Ionenumlauf verspätet sich zunehmend gegenüber der elektrischen Frequenz, wie in Fig. 3 angedeutet ist. Nach $\sim 10^2$ Umläufen hat sich die Verspätung so aufsummiert, daß man die Ionen durch den Ablenkkondensator ausschleust, bevor sie völlig außer Takt gekommen sind.

Trotz dieser Energiebeschränkung auf den klassischen Bereich hat das vor 25 Jahren entstandene Zyklotron auch heute noch eine große Bedeutung in der Kernphysik. Bei einer Stromstärke $J \sim 0{,}1$ mA übertrifft es die stärksten radioaktiven Präparate um Größenordnungen, es übertrifft auch alle anderen Zirkularbeschleuniger. Die Energielücke zwischen radioaktiver und kosmischer Strahlung kann es zwar nicht schließen, aber die Ionenenergien sind wesentlich größer als die der α-Strahlen. Außerdem kann man bei ihm die Ionenart weitgehend variieren; man verwendet das Zyklotron neuerdings z. B. für die Erzeugung energiereicher Stickstoff- und Sauerstoff-Ionen.

5. *Synchrozyklotron*

Die unerwünschte Begrenzung auf den klassischen Energiebereich entstand beim Zyklotron durch die gleichzeitige Konstantsetzung von B und $\lambda\!\!\!^{-}$. Will man zu relativistischen Ionenenergien vorstoßen, muß man entweder auf die zeitliche Konstanz von B oder auf die von $\lambda\!\!\!^{-}$ verzichten, so daß an sich zwei Möglichkeiten offen stehen. Aus technischen Gründen kommt nur der zweite Weg in Frage: man behält die Konstanz von B, also den Gleichstrommagneten bei und paßt dafür die Frequenz dem Ionenumlauf an, der längs der Spiralbahn wegen der relativistischen Massenzunahme allmählich langsamer wird. Da Ionenumlauf und Frequenz nunmehr synchron bleiben, nennt man das Gerät „Synchrozyklotron"; es entstand 1945, 20 Jahre nach dem Normalzyklotron ohne Synchronisierungszwang.

Das Synchrozyklotron besitzt im wesentlichen die gleichen inneren Bauelemente wie das Zyklotron Fig. 2 bis 4, also Gleichstrommagnet mit homogenem und konstantem Feld B_0 zwischen den Polschuhen sowie Hochvakuumkammer. Zur Beschleunigung dient eine einzige Dee-Elektrode als Hohlraumschwinger an Stelle der zwei Dees. Die Ionen werden im Zentrum in Form eines kurzen Einzelstoßes eingeschossen und spiralisieren dann nach außen. Während das Ionenpaket umläuft, wird die Frequenz ν vom Anfangswert ν_a auf den Endwert ν_e erniedrigt. Nach Ausschleusung des Ionenpaketes wird die Frequenz wieder auf den Anfangswert hochgefahren, und das Spiel wiederholt sich. Die Hochfrequenz ν wird also im Rhythmus einer Niederfrequenz ν_1 frequenzmoduliert; die Ionenpakete werden im Takte der Niederfrequenz ν_1 ausgestoßen.

Die Frequenzmodulation folgt aus Gl. (3):

$$\lambda\!\!\!^{-} = \frac{E_0/e}{c\,B_0}\,(1+\eta), \qquad \text{so daß } \nu_a : \nu_e = (1+\eta_{\max}) : 1 \quad \text{ist.}$$

Da die relative kinetische Energie $\eta = E_k/E_0$ annähernd linear mit der Zeit ansteigt, muß die Frequenz während des Ionenumlaufs $\sim$ linear abnehmen. Man kann daher nach Fig. 5 eine sinusförmige Frequenzmodulation benutzen; in der Figur ist die Modulationsfrequenz $\nu_1 \sim 100$ Hz angenommen. Bei Protonen ($E_0 = 938$ MeV) einer Endenergie $E_{k\max} = 130$ MeV wird die Frequenzvariation $\nu_a/\nu_e = (938 + 130)/938 = 1{,}14$, der Frequenzabfall zwischen dem Ein- und Ausschleusen also 14%. Die gesamte Frequenzmodulation in unserem Fall beträgt $\sim 20\%$. Die Modulation wird durch rotierende Drehkondensatoren bewirkt, welche zur Eigenkapazität des Dee parallelgeschaltet sind und im Hochvakuum synchron mit ν_1 umlaufen.

In Fig. 5, welche durchschnittlichen Verhältnissen entspricht, umfaßt die Ionenlaufzeit etwa eine Viertelperiode $\sim 2{,}5$ msec. In dieser Zeit führen die Ionen bei einer Frequenz $\nu \sim 2 \cdot 10^7$ Hz etwa $N \sim 50000$ Umläufe aus, also viel mehr als beim Normalzyklotron, wo man die Umlaufzahl wegen der fehlenden Synchronisierung klein halten mußte.

Die Einschleuszeit, während welcher die Ionen bei Impulsbeginn eingeschossen werden, beträgt $\sim 0{,}1$ msec. In dieser Zeit finden ~ 2000 Ionenumläufe statt. Es werden also nicht alle 50000 Spiralarme (wie beim Zyklotron), sondern nur die ersten ~ 2000 Spiralarme „mit Ionenwolken besetzt". Natürlich liegen

hier die einzelnen Spiralarme so dicht, daß die einzelnen Wolken zu einem gemeinsamen Ionenpaket zusammenfließen, das dann als Ganzes synchron mit der abnehmenden Hochfrequenz nach außen spiralisiert.

Die einzelne Ionenwolke hat ungefähr die gleiche Ionenzahl ($\sim 10^8$) wie beim Zyklotron. Das Paket von $\sim 10^3$ Ionenwolken enthält also $\sim 10^{11}$ Ionen. Da im Takte der Niederfrequenz $\sim 10^2$ Ionenpakete pro sec

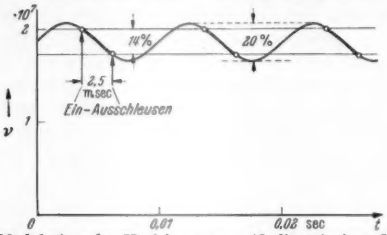


Fig. 5. Modulation der Hochfrequenz ν (Ordinate) eines Synchrozyklotrons mit einer Niederfrequenz $\nu_1 = 100$ Hz für Protonen von 130 MeV. Zeit als Abszisse. Der Anfangswert der Frequenz ist mit $\nu_0 = 2 \cdot 10^7$ Hz angenommen. Die Ionenbeschleunigung findet im stark ausgezogenen fallenden Frequenzteil statt

ausgestoßen werden, gibt das Synchrozyklotron $\sim 10^{13}$ Ionen/sec oder 1 μA, also nur $\sim 1\%$ der Zyklotronstromstärke. Tatsächlich liefert das Synchrozyklotron nur während $\sim 1\%$ der Zeit Ionen, denn $\sim 10^2$ Ioneneinschüsse von je 10^{-4} sec Dauer geben eine summierte Einschußzeit von $\sim 10^{-2}$ sec während einer Sekunde.

Bei einer angenommenen Endenergie $E_{k\,\max} = 130$ MeV und bei $N \sim 50000$ Ionenumläufen müssen

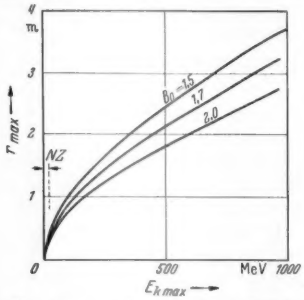


Fig. 6. Endradius $r_{\max}$ für Protonen beim Synchrozyklotron als Funktion der kinetischen Endenergie $E_{k\max}$. Der mit dem Normalzyklotron (N.Z.) erreichbare Energiebereich ist links angedeutet. Magnetfeld B_0 in Vsec/m² bzw. 10^4 Γ.

die Ionen pro Umlauf ~ 3 keV Energie gewinnen. Die Dee-Spannung ist also bequemerweise viel niedriger als beim Zyklotron.

Die sehr große Zahl von Umläufen im Synchrozyklotron ist nur möglich, wenn selbststabilisierende Effekte vorhanden sind, welche das Ionenpaket während des Spiralumlaufes zusammenhalten. Eigentlich werden die Grundgleichungen nur von einem einzigen gedachten „Sollpunkt" längs der ganzen Spiralbahn exakt erfüllt; das Ionenpaket hat aber eine endliche Ausdehnung in radialer, axialer und azimutaler Richtung. Die radialen und axialen Differenzen gegenüber dem Sollpunkt führen zu räumlichen Abweichungen von der spiraligen „Sollbahn", die azimutalen Differenzen bedeuten eine zeitliche Abweichung von der „Sollphase". Bei Abweichungen der Ionen vom Sollpunkt treten nun tatsächlich Rückstellkräfte auf, so daß die Ionen während des Spiralumlaufs Schwingungen um die Sollbahn und die Sollphase ausführen, wobei die Amplituden in zulässigen Grenzen bleiben. Im Abschnitt 8 beim AG-Synchrotron werden diese Schwingungen nochmals erwähnt; wir gehen aber auf die Stabilitätsfragen nicht näher ein.

Die absolute Größe des Synchrozyklotrons folgt nach Gl. (1) aus dem Maximalradius $r_{\max}$, der zur relativen Endenergie $\eta_{\max}$ gehört:

$$r_{\max} = \frac{E_0/e}{c\,B_0} \sqrt{\eta_{\max}^2 + 2\eta_{\max}}\,.$$

Wegen der relativ kleinen Hochfrequenzspannung kann der Polschuhspalt enger, das Feld B_0 größer sein als beim Zyklotron.

Fig. 6 gibt $r_{\max}$ für einige gebräuchliche B_0-Werte und für Protonen wieder; der Polschuhradius ist um 10 bis 20% größer als $r_{\max}$. Der vom Normalzyklotron überdeckte klassische Energiebereich ist so schmal, daß er in Fig. 6 kaum in Erscheinung tritt; man sieht die gewaltige Energiesteigerung der neuen synchronisierten Betriebsweise des Zyklotrons.

Nach großen Energien hin besteht keine prinzipielle Grenze. Die beiden zur Zeit größten Synchrozyklotrons stehen in Berkeley (Pol-$\Phi \sim 5$ m) und bei Moskau (Pol-$\Phi \sim 6$ m); bei letzterem wiegt der Magnet bereits ~ 7000 Tonnen.

6. Elektronensynchrotron

Wenn man Synchrozyklotrons nicht größer baut, so liegt dies an der Spiralform der Partikelbahn: dadurch wird man gezwungen, das homogene Feld auf der ganzen Polschuhfläche herzustellen, den Polschuh also aus kompaktem Eisen zu machen. Wenn man statt der Spiralbahn eine Kreisbahn erreichen kann, braucht man das Führungsfeld nur noch am Ort der Kreisbahn, und man kann bei gleichem Eisen- und Kostenaufwand wesentlich größere Radien $r_{\max}$ bzw. Energien $E_{\max}$ erzielen. Geräte solcher Art nennt man Synchrotrons.

Wir verfügen also über die drei Variablen r, B, λ der Grundgleichungen jetzt in der Weise, daß wir durch Festsetzung eines konstanten Bahnradius $r = r_0$ einen „Sollkreis" als Teilchenbahn einführen. Dadurch werden die beiden anderen Variablen B und λ nach Gl. (1) und (2) als Abhängige von η bzw. von der Zeit festgelegt:

$$B = (E_0/e\,c\,r_0) \sqrt{\eta^2 + 2\eta} \tag{7}$$

$$\lambda = r_0\,(1 + \eta)/\sqrt{\eta^2 + 2\eta}\,, \tag{8}$$

wobei $r_0/\lambda = \beta = v/c$. Bei Elektronen tritt nun eine wesentliche Vereinfachung dadurch ein, daß $E_0/e = 0{,}51$ MV, also für unsere Betrachtungen sehr klein ist. Bereits bei $E_K = 1$ MeV bzw. $\eta \approx 2$ wird nach den eingangs gebrachten Formeln $\beta = v/c = 0{,}94$; die Elektronen laufen schon beinahe mit Lichtgeschwindigkeit und kommen bald ins extrem relativistische Gebiet, wo $\eta \gg 1$ ist. Für diesen Fall vereinfacht sich Gl. (8):

$$(1 + \eta)/\sqrt{\eta^2 + 2\eta} \approx 1\,,$$

also $\lambda \approx r_0$, d.h. Sollkreisumfang $2\pi\,r_0 \approx \lambda$.

Beim Elektronensynchrotron haben wir somit nicht nur einen Sollkreis von konstantem Radius r_0, sondern

auch eine Wechselspannung von konstanter Frequenz ν_0. Einem $r_0 = 1$ m entspricht eine Wellenlänge $\lambda_0 = 6{,}3$ m bzw. eine Frequenz $\nu_0 = 0{,}5 \cdot 10^8$ Hz.

Nur die Induktion B muß variiert werden. Für den Fall $\eta \gg 1$ ergibt sich aus Gl. (7):

$$\sqrt{\eta^2 + 2\eta} \approx \eta,$$

also

$$B \approx \left(\frac{E_0}{e\,c\,r_0}\right)\eta = \left(\frac{1}{c\,\lambda_0}\right)\frac{E_k}{e}, \tag{9}$$

wobei E_k/e die kinetische Energie im Voltmaß darstellt. Die Induktion B muß also proportional mit E_k anwachsen. Da die Elektronen im Wechselfeld mit der Geschwindigkeit $v \approx c =$ constans auf einem Sollkreis von konstantem Umfang umlaufen, wächst E_k linear mit der Zeit an; B muß deshalb beim Elektronensynchrotron ebenfalls linear mit der Zeit zunehmen; der Magnet ist ein Wechselstrommagnet mit lamelliertem Eisenkern.

In der Synchrotronpraxis benutzt man, siehe Fig. 7, ein $B_{\max} \approx 1{,}0$ Vsec/m². Bei gegebenem Sollradius bzw. gegebener Frequenz ist also nach Gl. (9) auch die erreichbare Endenergie $E_{k\,\max}$ gegeben:

$$E_{k\,\max}/e \approx c\lambda_0 B_{\max} = c\,r_0 B_{\max}. \tag{10}$$

Bei entsprechend großem Radius r_0 sollte es demnach möglich sein, Elektronen beliebig hoher Energie herzustellen. Tatsächlich kommt man in der Praxis nicht wesentlich über 500 MeV hinaus, weil das auf der Kreisbahn umlaufende Elektron infolge der Radialbeschleunigung einer Strahlungsdämpfung unterliegt. Die Emission der Bremsstrahlung erfolgt wegen $v \approx c$ fast ausschließlich in der Vorwärtsrichtung der Bahntangente. Bei einem kleineren Synchrotron von $r_0 = 0{,}3$ m wurde das Bremskontinuum näher untersucht; es erscheint visuell bei 35 MeV als schwaches rötliches Leuchten, bei der Endenergie von 70 MeV gibt es ein helles bläulichweißes Licht, so daß man die Elektronenwolke in der Ringröhre direkt „sehen" kann.

Im relativistischen Gebiet führt die Strahlungsdämpfung pro Elektron und pro einen Umlauf zu einem Energieverlust $-\Delta E$, wobei

$$-\Delta E = \frac{4\pi}{3} E_0 \frac{a}{r_0} \eta^4.$$

[$a = (1/4\pi\,\varepsilon_0) \cdot (e^2/E_0) = 2{,}8 \cdot 10^{-15}$ m = klassischer Elektronenradius.] Setzt man nach Gl. (10) für $B_{\max} \approx 1$ Vsec/m² zahlwertmäßig den Synchrotronradius $r_0 \approx E_{k\,\max}/c$, erhält man für diese Feldstärke zahlwertmäßig

$$-\Delta E \approx \frac{4\pi}{3} a\,c\,\eta^3 \qquad \text{(pro Umlauf in eV)}.$$

Bei einem Elektronensynchrotron von $E_{k\,\max} = 511$ MeV bzw. bei $\eta_{\max} = 1000$, entsprechend einem Radius $r_0 \approx 1{,}7$ m, erfahren also die Elektronen der Endenergie $E_{k\,\max}$ einen Energieverlust $-\Delta E \approx 3500$ eV pro einen Umlauf, der schon vergleichbar ist mit dem Energiegewinn durch die beschleunigende Wechselspannung. Da der Verlust mit der dritten Potenz der Endenergie anwächst, führt die Strahlungsdämpfung in der Praxis zu einer Maximalgröße und Maximalenergie des Elektronensynchrotrons, die im allgemeinen unter ~ 1 GeV $= 10^9$ eV bleibt.

Fig. 7 gibt schematisch die äußere Form eines Elektronensynchrotrons entsprechend den obigen Überlegungen. Der Magnet ist, wenigstens bei den größeren Typen, rotationssymmetrisch. Der Sollkreis liegt in der Achse einer evakuierten Ringröhre, die Röhre selbst zwischen den Polschuhen des Magneten. Der Magnet wird mit niederfrequentem Wechselstrom der Frequenz $\nu_1 \sim 50$ Hz erregt; für den Beschleunigungsvorgang wird der Feldanstieg von $B \sim 0$ bis etwa $^3/_4 B$ (Scheitel) ausgenutzt, also ein Zeitintervall von ~ 3 msec. Zur Beschleunigung wird wie beim Synchrozyklotron eine einzige Elektrode benutzt, die in $\lambda/4$-Resonanz schwingt, also $\sim 90°$ des Kreisumfangs umfaßt. Das Synchrotron arbeitet im Impulsbetrieb und ergibt ähnliche oder kleinere Stromstärken wie das Synchrozyklotron, also $\sim < 1$ μA.

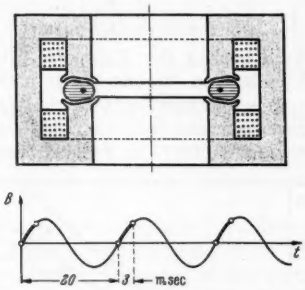


Fig. 7. Elektronensynchrotron schematisch. Der Wechselstrommagnet wird mit 50 Hz betrieben. Für die Ionenbeschleunigung wird jeweils der stark ausgezogene Teil des Feldanstieges ausgenutzt

In 3 msec legen die mit Lichtgeschwindigkeit laufenden Elektronen einen Gesamtweg $L \approx 10^3$ km zurück; bei gegebener Niederfrequenz ν_1 ist $L \sim$ unabhängig vom Sollkreisradius r_0 bzw. von der Größe des Synchrotrons. Die Umlaufzahl $N = L/2\pi\,r_0$ liegt also, je nach Größe, bei $\sim 10^5$ bis 10^6. Der mittlere Energiegewinn $E_1 = E_{k\,\max}/N$ pro Umlauf liegt für große Elektronensynchrotrons bei $E_1 \sim 10^3$ eV pro Umlauf. Diese Zahlen haben nur die Bedeutung von Durchschnittswerten.

Wegen der großen Zahl von Umläufen sind die selbststabilisierenden Eigenschaften von Bahn und Phase, wie beim Synchrozyklotron, besonders wichtig. Die Elektronenwolke, die bei Impulsbeginn in den Sollkreis eingeschossen wird, nimmt die Form eines etwa viertelkreisförmigen Schlauches an, der symmetrisch zum Sollpunkt liegt.

Anfangs füllt der Schlauch einen erheblichen Teil des Querschnitts der Ringröhre aus; am Ende sind die radialen und axialen Schwingungen um den Sollkreis so klein geworden, daß der Querschnitt des Schlauches auf einige mm² zusammengeschrumpft ist.

Das Einschleusen der Elektronen am Anfang und das Ausschleusen am Ende des Impulses soll hier übergangen werden. Nur eine kurze Bemerkung über das Einschleusen: da das Elektronensynchrotron nur im extrem relativistischen Gebiet arbeitet, müssen die Elektronen zunächst auf $\sim$ Lichtgeschwindigkeit gebracht werden. Man macht dies so, daß man die Elektronen zu Beginn des Feldanstiegs mit ~ 50 keV einschießt und dann durch einen kurzen Betatronimpuls (Kondensatorentladung durch die Spule eines kleinen Hilfskerns in der Synchrotronachse) auf $\sim$ Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Erst dann wird

die Hochfrequenzspannung an die Beschleunigungselektrode angelegt, so daß nun der Synchrotronbetrieb einsetzt. Dank der selbststabilisierenden Effekte fängt dann das Wechselfeld etwa 50% der ursprünglich in Form eines Ringstroms umlaufenden Elektronen in der schlauchförmigen Elektronenwolke ein.

Wegen der Selbststabilisierung der Phase ist es auch nicht notwendig, daß die durch Gl. (9) nahegelegte zeitlich lineare Zunahme von B exakt eingehalten wird. Die Gl. (9) ist im Gegenteil so zu deuten: *B muß nicht* genau proportional E_k anwachsen, sondern umgekehrt: wegen der Phasenstabilität stellt sich automatisch jederzeit eine solche Phase zwischen Umlauf und Wechselfeld her, daß E_k genau proportional mit B anwächst, wobei der zeitliche B-Verlauf innerhalb gewisser Grenzen beliebig ist.

7. *Ionensynchrotron*

Dank der Kleinheit der Ruhmasse arbeitete das Elektronensynchrotron bereits kurz nach Impulsbeginn im extrem relativistischen Gebiet. Der schmale klassische Energiebereich wurde mit Hilfe eines Betatronimpulses durchlaufen; eine Frequenzvariation war

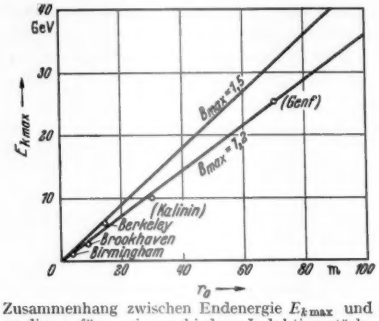


Fig. 8. Zusammenhang zwischen Endenergie $E_{k\max}$ und Sollkreisradius r_0 für zwei verschiedene Induktionsstärken ($B=1{,}2$ und $B=1{,}5$)

deshalb nicht notwendig. Beim Ionensynchrotron gibt es aber keinen Trick, mit dem man sich das Durchlaufen des klassischen Energiebereichs erleichtern könnte, denn dieser endet selbst bei den leichten Protonen erst oberhalb einigen 10^3 MeV. Wenn man also auch bei Ionen einen Synchrotronbetrieb mit konstantem Sollkreisradius r_0 haben will — und dies ist wegen der Kostengrenze beim Synchrozyklotron erwünscht —, muß die Synchronisierung zwischen Umlauf und Wechselspannung im gesamten klassischen wie relativistischen Energiebereich garantiert sein. Die Vorschriften Gl. (7) und (8) über den Zusammenhang von B und λ mit der relativen Energie η bzw. Zeit müssen also in jedem Moment des Beschleunigungsvorgangs erfüllt werden.

Es ist nun so, daß der zeitliche Feldanstieg durch den Anstieg des Stromes im Magneten und durch die magnetische Kennlinie des Eisens technisch vorgegeben ist; man wird den Anstieg möglichst linear machen. Die Gl. (7) bezüglich B und η wird dann, wie am Ende von Abschnitt 6 gesagt wurde, von selbst erfüllt, weil sich wegen der Stabilisierungseffekte die Ionenenergie η automatisch dem gegebenen B-Anstieg anzupassen vermag. Da aber der η-Anstieg nunmehr gleichfalls festliegt, besteht nach Gl. (8) auch eine Vorschrift über den λ-Abfall bzw. über den Frequenzanstieg während des Impulses; der Frequenzanstieg muß also dem technisch gegebenen Feldanstieg sehr genau angepaßt werden. Mit komplizierten elektronischen Mitteln ist es tatsächlich möglich, den momentan herrschenden Wert des Magnetfeldes trägheitslos in eine Regelgröße umzuwandeln, mit der man die Frequenz ν der Hochfrequenzspannung steuern kann. Es gelingt so, die Frequenz mit einer Genauigkeit von 10^{-4} bis 10^{-5} auf dem jeweils herrschenden Sollwert zu halten.

Wenn das ansteigende Feld den Wert $B=B_{\max}$ erreicht hat, werden die Ionen ausgeschleust. Da sie in diesem Endzustand schon weit im relativistischen Gebiet liegen, können wir mit guter Näherung die für den extrem relativistischen Fall geltende Gl. (10) des Elektronensynchrotrons für den Zusammenhang zwischen Endenergie $E_{k\max}$ und Sollkreisradius r_0 benutzen. Die in der Praxis benutzten Werte von $B_{\max}$ liegen etwa zwischen 1,2 und 1,5 Vsec/m². Für diese beiden Induktionsstärken ist das $E_{k\max}$-r_0-Diagramm von Fig. 8 gezeichnet. Die Ionensynchrotrons in Birmingham, in Brookhaven (= „Cosmotron") und in Berkeley (= „Bevatron") sowie das bald in Betrieb kommende Synchrotron bei Kalinin (= „Phasotron") sind durch Punkte markiert, s. auch Tabelle 1.

Tabelle 1

	r_0 [m]	$E_{k\max}$ [GeV]	$B_{\max}$	Eisengew. [Tonnen]
Birmingham	4	1	1,25	810
Brookhaven-Cosmotron .	9	3	1,4	1640
Berkeley-Bevatron . . .	15,2	6	1,5	13000
Kalinin-Phasotron . . .	28	10	—	36000

1 GeV = 10^9 eV.

Beim Elektronensynchrotron wurde der Magnet mit Wechselstrom von $\nu_1 \sim 50$ Hz erregt. Beim Ionensynchrotron ist wegen der Größe des Magneten eine Wechselstromdauererregung wirtschaftlich nicht durchführbar, da z. B. beim Bevatron Wechselstromgeneratoren von $\sim 10^5$ kW notwendig wären. Man erregt daher die Magnete mit Gleichstromimpulsen von einigen sec Dauer, die sich alle 5 bis 10 sec wiederholen. Den Strom liefern Gleichstromgeneratoren, die mit Schwungrädern von 30 bis 40 t Masse gekuppelt sind und von verhältnismäßig kleinen Motoren von einigen 10^3 kW angetrieben werden. Die große Momentanleistung beim Aufbau des Feldes wird der kinetischen Energie des Schwungrades entnommen; durch entsprechende Schaltgeräte wird ein großer Teil der Feldenergie beim Abbau der Magnetisierung an das Schwungrad wieder zurückgegeben. Da der Feldanstieg ungefähr 100mal so langsam erfolgt wie bei einem normalen Transformator, genügt es, wenn der Magnet aus Eisenblechen von 1 cm Stärke lamelliert ist.

Beim Ionensynchrotron ist die Impulsfrequenz ($\nu_1 \sim 0{,}1$ sec^{-1}) etwa um den Faktor 10^3 kleiner als beim Synchrozyklotron ($\nu_1 \sim 100$ sec^{-1}); die Ionenzahl pro Impuls ($\sim 10^9$ bis 10^{10}) ist etwa zehnmal so klein. Die Durchschnittsstromstärke des Synchrotrons ist also $\sim 10^4$mal so klein wie die des Synchrozyklotrons und liegt bei 10^{-10} Amp. Das Synchrotron besitzt also bei $\approx 10^{-10}$ Amd und bei einigen 10^9 V eine abgegebene Leistung von einigen 0,1 W, dem ein Leistungsbedarf von Tausenden von Kilowatt und ein enormer Materialaufwand gegenübersteht — so wichtig wird die Grundlagenforschung auf diesem Gebiet gewertet.

In Fig. 9 bringen wir für das Bevatron bei Protonenbetrieb den Anstieg der Energie E_k und der relativen Geschwindigkeit $\beta = v/c$ beim Anwachsen der Induktion B, berechnet nach Gl. (7) usw. Das Bild gibt nur den ersten Teil des Feldanstiegs bis $B = 6000\,\Gamma$; bei $B_{max} = 15\,000\,\Gamma$ erfolgt das Ausschleusen. E_k wächst anfangs nur langsam, weil die Umlauffrequenz der Protonen klein ist. Später wird $\beta \sim 1$, und die E_k-Kurve steigt linear mit B an. Die β-Kurve, die mit endlichem Differentialquotienten im Nullpunkt beginnt und dem Grenzwert $\beta = 1$ zustrebt, ist auch zugleich die Kurve des Frequenzanstiegs während des Impulses, denn Umlauffrequenz $v/2\pi r_0$ und elektrische Frequenz ν sind einander gleich. Die gesamte Impulsdauer zwischen Ein- und Ausschleusen der Protonen beträgt beim Bevatron $T = 1{,}85$ sec. Unter der vereinfachten Annahme, daß B während der Impulsdauer linear mit der Zeit anwächst, ist oben in Fig. 9 noch die dem B-Anstieg zugeordnete Zeitskala eingetragen. Der Protoneneinschuß erfolgt in Fig. 9 an der markierten Stelle mit $E_k \approx 10$ MeV entsprechend einem $\beta \approx 0{,}145$ bzw. einem $B \approx 300\,\Gamma$. Da die β-Kurve zugleich der Frequenzkurve entspricht, muß die Frequenz ν während des Impulses im Verhältnis 0,145:1 bzw. 1:6,9 erhöht werden. Der notwendige Frequenzgang wird, wie früher gesagt, mit elektronischen Mitteln sehr genau sichergestellt.

Die Kosten einer Synchrotronanlage für Ionen werden durch zwei Faktoren bestimmt. Erstens wird durch die gewünschte Endenergie $E_{k\,max}$ nach Fig. 8 der Sollkreisradius r_0 innerhalb enger Grenzen festgelegt, da man mit Eisen — in Canberra plant man allerdings ein eisenloses Synchrotron mit $B_{max} = 6$ Vsec/m² — keine wesentlich stärkeren Felder von dieser Ausdehnung herstellen kann; der räumliche Umfang der Anlage ist damit gegeben. Der zweite Faktor ist durch die radialen und axialen Schwingungen der Ionen um die Sollbahn gegeben, deren Absolutamplitude mit dem Bahnradius r_0 wächst. Es wächst also auch der Querschnitt der Ringröhre entsprechend und damit auch das Volumen, in welchem das Magnetfeld erzeugt werden muß. Fig. 10 zeigt einen schematischen Querschnitt durch Ringröhre und Magneten beim Berkeley-Synchrotron. Man sieht, daß das Magnetgewicht (13 000 t) und damit die Baukosten in entscheidender Weise von der notwendigen Größe des Röhrenquerschnitts abhängen.

Die Ringröhre muß an einigen Stellen bequem zugänglich sein, damit man die Ionen einschleusen und ausschleusen sowie die Pumpanlage und das Beschleunigungswechselfeld anbringen kann. Beim Bevatron (ähnlich beim Cosmotron) sind deshalb gemäß Fig. 10 rechts unten in den Kreisring von 15,2 m Radius symmetrisch vier feldlose Geradstrecken von je 6,1 m Länge eingefügt; die Gesamtlänge der Bahn ist $s \approx 120$ m. Die Beschleunigungszeit beträgt 1,85 sec. Integriert man für dieses Zeitintervall graphisch über die β-Kurve Fig. 9 (die Zeitachse dort gilt allerdings nur näherungsweise), erhält man für die Protonen einen Gesamtweg $L \approx 480\,000$ km, also mehr als die Entfernung Erde—Mond. Daraus ergibt sich eine Umlaufzahl $N = L/s \approx 3 \cdot 10^6$. Bei $6 \cdot 10^9$ eV Endenergie beträgt also der mittlere Energiegewinn pro Umlauf ~ 2 keV.

Die Hochfrequenzbeschleunigungsstrecken sind beim Cosmotron und Bevatron nicht Elektroden, sondern nach Fig. 11 Magnetkerne aus Hochfrequenzmaterial, bei denen das induktiv-elektrische Feld die Ionenenergie erhöht.

Da der Strahlungsenergieverlust je Umlauf nach Abschnitt 6 nur von $\eta = E_k/E_0$ abhängt, wird er beim

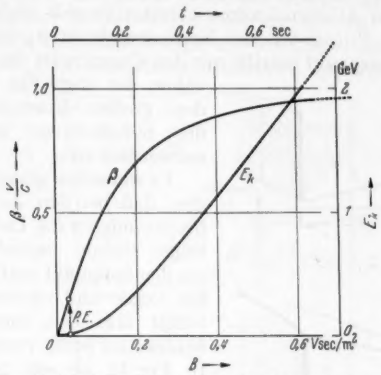


Fig. 9. Der Anstieg der Relativgeschwindigkeit β und der kinetischen Energie E_k beim Bevatron für Protonen als Funktion der anwachsenden Induktionsstärke B (untere Abszisse) bzw. der Zeit (obere Abszisse). Das Bild gibt nur das erste Drittel des Beschleunigungsintervalls. $P.E.$ = Protoneneinschuß

Ionensynchrotron erst oberhalb $E_k \sim 10^{11}$ eV störend. Diese physikalische Energiegrenze wird aber in der Praxis nicht erreicht, weil schon vorher wirtschaftliche

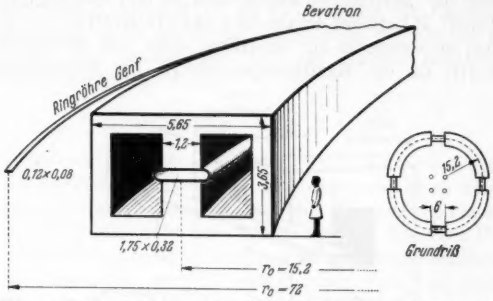


Fig. 10. Größenvergleich schematisch zwischen dem Bevatron und der Ringröhre des Genfer Projekts. Die Zahlen geben die Größen in Metern an

Grenzen gezogen sind. Wenn beim Phasotron die Eisenmasse so groß ist wie die eines Schlachtschiffes, dürfte diese Grenze erreicht sein. Immerhin gewinnt

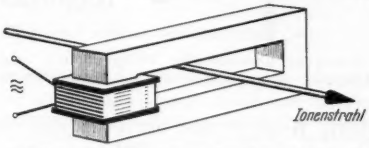


Fig. 11. Induktive Beschleunigung des Ionenstrahls durch einen Hochfrequenzkern

man durch das Synchrotronprinzip gegenüber dem Synchrozyklotron bei Aufwendung gleicher Geldmittel etwa eine Größenordnung an Energie.

8. AG-Synchrotron

Im Synchrotron mit „alternierendem Gradienten" bietet sich die Möglichkeit, diese finanzielle Begrenzung abermals um eine weitere Größenordnung hinauszuschieben. Einige Maschinen dieser Art sind zur

Zeit im Entstehen begriffen, die praktische Erprobung steht noch aus. Das Projekt in Genf ist von CH. SCHMELZER[1]) näher beschrieben worden. Wir bringen hier das AG-Synchrotron nur so weit, wie es der Zusammenhang erfordert.

Das AG-Synchrotron arbeitet an sich nach demselben Prinzip wie das Normalsynchrotron; der neue Gesichtspunkt betrifft nur den Querschnitt der Ringröhre, der nach Fig. 10 für den großen Eisenaufwand des Synchrotrons mitverantwortlich ist.

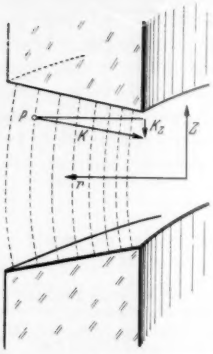


Fig. 12. Axiale Stabilisierung im Falle $n \gg 0$. Die Luftspaltweite ist stark übertrieben

Es war schon gesagt worden, daß bei den Zirkularbeschleunigern die Ladungsträger stabile Pendelungen um den Sollpunkt ausführen. Die axiale und radiale Stabilität läßt sich aus dem Feldverlauf leicht verstehen. In Fig. 12 ist ein Schnitt durch die Polschuhe eines Synchrotronmagneten dargestellt für den Fall, daß das Feld nach außen abnimmt; die Feldlinien sind nach außen durchgekrümmt. Wenn ein Ladungsträger in der axialen Z-Richtung von der Mittelebene abgewichen ist und sich z. B. im Punkt P befindet, ergibt die LORENTZ-Kraft $K = evB$, welche senkrecht zur Kraftlinie steht, eine Rückstellkraft, da die Kraftkomponente K_z zur Mittelebene

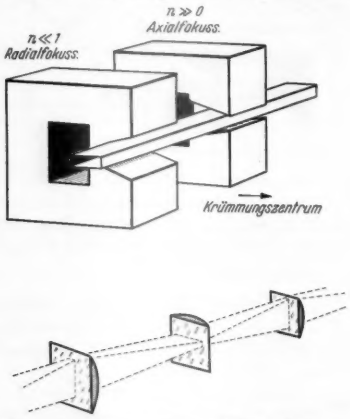


Fig. 13. Erzeugung alternierender Feldgradienten, schematisch. Darunter: optisches Analogon mit Zylinderlinsen

zurückführt. Wenn wir also den Feldabfall durch ein Potenzgesetz darstellen: $B = \frac{\text{const}}{r^n}$, wobei der „Feldindex" $n = -\frac{dB/B}{dr/r}$ ist, so tritt axiale Stabilisierung für nach außen abnehmendes Feld ein: $n > 0$. Je größer $+n$ ist, desto besser ist die Axialstabilität. Radiale Stabilität liegt dagegen nur dann vor, wenn die zentripetale LORENTZ-Kraft $evB = ev \cdot \text{const}/r^n$ nach außen langsamer abnimmt als die Zentrifugalkraft mv^2/r, wenn also $n < +1$ ist. Je kleiner n, desto besser die Stabilität. Für negative n, wenn also das Feld nach außen zunimmt, wird die Radialstabilität besonders groß.

[1]) SCHMELZER, CH.: Physikertagung Innsbruck 1953, S. 16.

Beim Normalsynchrotron mit „konstantem Gradienten" bzw. konstantem Feldindex muß durch den Feldverlauf gleichzeitig axiale und radiale Stabilität erzielt werden. Für den Feldindex n kommt also nur der enge Wertebereich zwischen 0 und $+1$ in Frage; $n < \frac{1}{2}$ gibt schlechte Axialstabilität, $n > \frac{1}{2}$ schlechte Radialstabilität.

Vermöge der Stabilisierungskräfte pendeln die Ladungsträger um die Sollbahn mit bestimmten Pendelfrequenzen ν_r und ν_z in radialer und axialer Richtung. Die Theorie gibt für diese Pendelfrequenzen

$$\nu_r = \nu\sqrt{1-n}; \qquad \nu_z = \nu\sqrt{n};$$

ν = Umlauf- bzw. elektrische Frequenz. Man sieht wieder, daß Stabilität, also reelle Werte für gleichzeitig beide Pendelfrequenzen, nur für $0 < n < +1$ vorliegen. Wie bei mechanischen Eigenschwingungen ist die Frequenzgröße zugleich ein Maß für die Stabilität. Um den Luftspalt im Magneten schmal zu halten, bevorzugt man beim Normalsynchrotron gewöhnlich die axiale Stabilität und setzt z. B. $n = 0{,}7$, so daß $\nu_r = 0{,}55\nu$, $\nu_z = 0{,}84\nu$. Das Ion läuft also fast zweimal um, während es eine Radialpendelung ausführt. Auf jeden Fall ist beim Normalsynchrotron stets ν_r, $\nu_z < \nu$, und daraus folgt, daß die absolute Größe der Pendelamplitude erheblich ist; dies zwingt zu einem großen Querschnitt der Ringröhre. Nach obigem ist es unmöglich, bei konstantem Gradienten gleichzeitig ν_r und ν_z groß zu machen und damit große Stabilität in beiden Richtungen zugleich zu erhalten.

Der Trick beim Synchrotron mit alternierendem Gradienten ist nun der, daß man ν_r und ν_z zwar nicht gleichzeitig, aber räumlich alternierend längs der Sollbahn sehr groß macht. Die Theorie zeigt, daß dabei im Durchschnitt ein großer Gewinn an Stabilität in beiden Richtungen zugleich herauskommt. Wenn man $n \gg 0$ macht, wird ν_a groß (d. h. $\nu_a \gg \nu$), die axiale Stabilität also groß. Dabei wird allerdings ν_r imaginär, d. h. in radialer Richtung tritt völlige Defokussierung ein. Umgekehrt hat man bei $n \ll 0$ großes ν_r bzw. große Radialstabilität, aber imaginäres ν_a, also axiale Defokussierung.

Beim AG-Synchrotron setzt man nun den Magneten nach Fig. 13 längs der Sollbahn aus einzelnen Abschnitten zusammen, bei denen der Feldindex zwischen $n \gg 0$ und $n \ll 0$ alterniert. Ein etwas gewagtes optisches Analogon sind alternierend gekreuzte Zylinderlinsen. Im Endeffekt bleibt — was allerdings elementar nicht verständlich ist — eine starke Fokussierung in beiden Richtungen übrig.

Beim Genfer Projekt war zunächst geplant, n zwischen $\pm \sim 10^4$ zu alternieren; die Pendelfrequenzen wären dann $\nu_r, \nu_a \sim 10^2\,\nu$ geworden. Es zeigte sich aber rechnerisch, daß störende defokussierende Resonanzen zwischen ν_r, ν_a und der Umlauffrequenz ν auftreten. Man ist deshalb auf $n = \pm \sim 300$ zurückgegangen; wegen $dB/B = -n\,dr/r$ bedeutet das: wenn die Ionen von der Sollbahn um $\Delta r/r = 0{,}5\,‰$ radial abweichen (dies ist etwa der Maximalwert beim Genfer AG-Synchrotron), soll sich das Feld um $\Delta B/B = 15\,\%$ ändern. Durch Zwischenschaltung ionenoptischer Linsen wird die Führung des Strahls längs der Röhrenachse weiter verbessert.

Beim Genfer Projekt plant man nach Fig. 8 einen Sollkreisradius $r_0 \approx 72$ m, ein Feld $B_{\max} \approx 1{,}2$ Vsec/m²,

also eine Endenergie $E_{k\max} \approx 25$ GeV. Der gesamte Bahnumfang einschließlich einer größeren Anzahl von feldlosen Geradstrecken beträgt $L \approx 550$ m, ist also $\sim$5mal so groß wie beim Bevatron.

Trotzdem wird man dank dem AG-Prinzip mit einem Röhrenquerschnitt von nur $8 \cdot 12\,\text{cm}^2$ auskommen; diese Röhre ist in Fig. 10 im selben Maßstab zum Vergleich mit eingezeichnet. Der Genfer Magnet wird deshalb trotz seines $2^1/_2$mal so großen Umfangs nur $\sim$3400 t Eisen enthalten gegenüber 36000 t beim Phasotron. Ein AG-Synchrotron leistet also bei gleichem Kostenaufwand wesentlich mehr als ein Normalsynchrotron.

9. Schluß

Bei der Erzeugung von Partikeln größerer Energie als die der Radioaktivität hat man also in den letzten Jahrzehnten verschiedene Entwicklungswege beschritten, die stets nach einer gewissen Strecke unpassierbar wurden, so daß man nach anderen weiterführenden Wegen suchen mußte. Der Anstieg der Partikelenergie im Laufe der Zeit ging in Wellen und Sprüngen vor sich. Wenn wir aber die Gesamtentwicklung betrachten und in Fig. 14 in logarithmischer Skala die von den einzelnen Geräten erreichte Maximalenergie als Funktion der Jahreszahl darstellen, ergibt sich ein ungefähr linearer Anstieg, wobei die Partikelenergie von 1930 bis 1960 etwa um den Faktor 10^5 gewachsen ist. Im Durchschnitt hat sich alle 6 Jahre die Energie verzehnfacht.

Es ist natürlich nicht möglich, daß dieser exponentielle Anstieg noch längere Zeit anhält. Mit dem Synchrotronprinzip ist in physikalischer Hinsicht ein gewisser vorläufiger Abschluß gefunden. Außerdem ist mit dem AG-Synchrotron der Anschluß an die Energien der kosmischen Strahlung voll erreicht; man ist nicht mehr auf Ballonaufstiege in die Stratosphäre angewiesen, sondern kann die Physik der schweren Elementarteilchen mit sehr viel größeren Intensitäten im Labor betreiben. Das kürzlich mit dem Bevatron erzeugte negative Proton, für das man bei der kosmischen Strahlung nur unsichere Anhaltspunkte hatte, ist ein Beispiel dafür.

Das Interesse an einer weiteren Energiesteigerung wird noch durch einen anderen Umstand gemindert. Bei extrem hohen Energien ($\eta = E_k/E_0 \gg 1$) sind die Nukleonen in den zusammenstoßenden Kernen als quasifrei zu betrachten, so daß letzten Endes nur ein Einzelnukleon gegen ein anderes stößt. Die beim Stoß übertragene Energie ist gleich der Relativenergie der Stoßpartner im Schwerpunktsystem, die viel kleiner ist als die kinetische Energie des Geschosses im Laborsystem. Aus dem Additionstheorem relativistischer

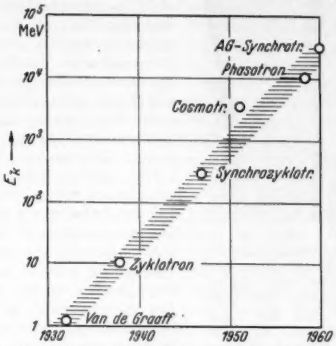


Fig. 14. Anstieg der Beschleunigerenergie E_k als Funktion der Jahreszahl. Als Synchrotron sind die Werte für das Cosmotron und Phasotron eingetragen

Geschwindigkeiten ergibt sich: Wenn im Laborsystem ein Nukleon der relativen Energie η gegen ein zunächst ruhendes Nukleon stößt, ist es bezüglich der Energieübertragung so, als würde ein Nukleon der Energie η' gegen ein unbeweglich fest im Raume liegendes Nukleon stoßen, wobei

$$\eta' \approx \sqrt{2\eta} \qquad (\eta \gg 1).$$

Wenn man also Protonen von z. B. 100 GeV ($\rightarrow \eta \approx 106$) als Geschosse verwendet, übertragen sie beim Stoß gegen andere Nukleonen, nur eine Energie, die einem $\eta' \approx 14{,}6$ entspricht also knapp 14 GeV. Die vom Beschleuniger gelieferte Energie wird also immer schlechter ausgenutzt, so daß vorläufig der Anreiz zu einer weiteren Energiesteigerung nicht groß ist.

Physikalisches Institut der Universität, Rostock

Eingegangen am 11. April 1956

Kurze Originalmitteilungen

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich

Strömungs- und Wärmeübergangsverhältnisse bei frei fallenden Rieselfilmen im Zustand der Verdampfung

In besonderen Verdampfern werden zur schonenden Behandlung temperaturempfindliche Stoffe in dünner Schicht über die Heizfläche ausgebreitet. Um die Vorgänge bei der Verdampfung solcher Filme beobachten zu können, wurde eine unter Atmosphärendruck arbeitende Versuchsanlage erstellt: eine senkrecht stehende, mit Dampf beheizbare Stahlplatte ($30 \times 250 \times 315\,\text{mm}^3$), auf die die Versuchsflüssigkeit (Wasser) in gleichmäßig dünner Schicht aufgegeben wurde.

Wird die Platte hoch geheizt, so bilden sich bei 100 bis 102° warmer Heizfläche kleine, nur langsam wachsende, den Flüssigkeitsfilm nur wenig störende Dampfbläschen, die bei bestimmter Größe von der Flüssigkeit mitgerissen werden, aus dieser austreten und platzen oder in ihr verbleiben und wieder verschwinden, da sie ihre Wärme an die kältere Umgebung abgeben. Bei einer Temperatur von 103° entstehen schnell wachsende, relativ große Blasen, die den Film aufreißen. Bei 104° bleibt dagegen der Film geschlossen, vermutlich weil die stürmische Blasenbildung für genügende Querverteilung der Flüssigkeit sorgt. Außerdem bleibt bei diesem Temperaturzustand der Film nach einer bestimmten Fallstrecke blasenfrei, wahrscheinlich infolge eintretender Turbulenz. Der Verdampfungsvorgang ändert sich wesentlich, wenn die Temperatur auf 105° gesteigert wird. Die Blasen bilden sich über der gesamten Heizfläche bis zum Platzen so schnell, daß der ganze Film aufgewirbelt wird. Die platzenden Blasen hinterlassen zwar trockene, wie Krater aussehende Stellen; dabei wird aber gleichzeitig die Flüssigkeit nach allen Seiten versprüht, was zu einer erneuten Benetzung der trockenen Stellen führt. Die stürmische Verdampfung kann, auch wenn Antischaummittel dem Aufgabewasser zugesetzt wird, zu einem starken Aufschäumen mit Blasen bis zu 30 mm ⌀ führen. Diese laufen wie ein Seifenschaum ab und halten sich längere Zeit.

Während sich die Vorgänge im Rieselfilm von 100° C ab von Grad zu Grad wesentlich geändert hatten, bringt eine Temperatursteigung über 105° C hinaus für einen großen

Temperaturbereich keine Änderung der genannten Erscheinungen. Erst wenn die Plattenoberfläche etwa 40° C und mehr über die Siedetemperatur des Wassers erwärmt wird, zeigt sich ein bislang nicht geklärter und wohl auch noch nicht beschriebener Vorgang. Die auf die so hoch erhitzte Platte aufgebrachte Flüssigkeit tritt stark schäumend aus dem Aufgabeschlitz und fließt eine Strecke ab. Dann reißt der schäumende Film auf und zieht sich zu einzelnen Strähnen zusammen, die von Randwirbeln begrenzt werden. Am Zusammentreffpunkt der beiden Wirbel hebt sich die Flüssigkeit von der Wand ab und fällt nach Art einer Wurfparabel, also mit zunehmendem Abstand von der festen Oberfläche. Der Auftreffpunkt lag nach einer Fallstrecke von etwa 120 bis 150 mm maximal 50 mm vor der Platte. Der frei fallende Strahl ist völlig klar, also frei von Dampfblasen. Er scheint sich unter der Einwirkung der Kräfte in den Randwirbeln zu drehen. Dieser Abhebeeffekt ist in Fig. 1 deutlich zu sehen. An dem mittleren Strahl erkennt man oben noch, wie sich die Flüssigkeit keilförmig zusammenzieht und unmittelbar darunter abgehoben wird. Rechts neben dem Strahl ist sein Spiegelbild auf der polierten Heizplatte zu erkennen. Neigt man die Platte nach rückwärts, so bleibt der Absprüheffekt unbeeinflußt. Auch wenn man den Film und den Strahl durch eine geeignete Vorrichtung zur Seite schabt, bilden sich sofort hinter dem Schaber an der gleichen Stelle die vorher beobachteten Strömungsvorgänge wieder aus. Der Ablösepunkt wandert bei Erhöhung der Heizflächentemperatur zum Aufgabespalt hin, bei Temperatursenkung von ihm weg. Dies läßt vermuten, daß die Flüssigkeit, die mit einer Temperatur unter 100° C (etwa 95° C) eingespeist wird, sich an der Platte erst bis auf einen bestimmten Überhitzungsgrad erwärmen muß, damit der Effekt auftreten kann. Die längs der Fallstrecke zunehmende Entfernung von der Heizplatte wird wahrscheinlich durch Rückstoßkräfte des aus dem überhitzten Strahl austretenden Dampfes bewirkt.

Fig. 1. Teilaufnahme der benetzten, senkrecht stehenden Heizplatte. Die stark schäumende Flüssigkeit hat sich, wie in der Mitte der Figur oben zu erkennen ist, keilförmig zu einer Strähne (a) zusammengezogen, die abgehoben wird. Der klare Strahl fällt frei ab. Direkt rechts neben ihm ist sein Spiegelbild (b) auf der polierten Platte zu erkennen

Forschungs-Gesellschaft Verfahrenstechnik e.V., Köln, Forschungsinstitut Aachen

W. Leidenfrost

Eingegangen am 3. September 1956

A New Electronic Concept of the Double Bond

Structural theory of multiple bonds has not yet been fully developed. Experimental evidence as well as theoretical considerations show that one of the bonds is of a normal covalent type while the other is of a different character. The precise nature of this second bond, however, still remains obscure. There is no explanation for the Pascal's constitutive correction factor λ to the molecular diamagnetism for such bonds. The reason given for the shortening of the double-bond length is also not very convincing and the changes in adjoining single-bond lengths have been explained on hypothetical assumptions of resonance, mesomerism or hyperconjugation. The shortcomings of these concepts have been known all the time and have been pointed out repeatedly. A new concept of the double bond developed here, however, makes such assumptions unnecessary. It is an altogether fresh approach based on simple physico-chemical arguments aimed at unravelling the intrinsic electronic phenomenon.

It is assumed that a single covalent bond already formed between two atoms does not permit the exchange of two more electrons through the same junction on account of interference in its own electron-exchange and also due to mutual electronic repulsion which prevents the second orbit from coming very close to the first. Thus the second bond is formed somewhat away from the first bond by coupling the electron orbits at an angle as shown in fig. 1. (Inclination is slightly exaggerated.) It is stipulated that in such a coupling the orbits of the so called π electrons are not free to rotate across the covalent bonds (also called the σ bonds). Direct experimental evidence supporting the existence of some fixed electron orbits in unsaturated compounds is provided by their diamagnetic anisotropy[1]).

This fixation of the π orbit modifies the properties of the double bond and its environment as follows. The discussion in general refers to ethylene. 1. The electrons forming covalent bonds retain freedom of rotation about the bond axis thus maintaining spherical symmetry of electron density in the atom. But the π electron in its fixed orbit obstructs the free rotation of other valence electrons. As a result, the π electron orbit is somewhat pushed out leaving three σ electrons free to form a separate spherical system under the belt-like orbit of the π electron. Accordingly the atomic volume gets reduced as it now depends upon the smaller mutual repulsion of three σ electrons. This decrease in the atomic radius accounts for the shorter length not only of the double bond but also of the single bonds next to it. The spherical symmetry of the outer regions of low σ electron density gets distorted on account

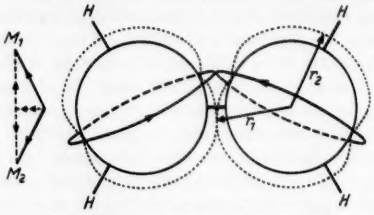


Fig. 1. Electronic structure of ethylene

of the repulsion from the π orbit, as shown by the dotted line. The effective radius of the double bonded C-atom thus varies slightly in different directions ($r_1 = 0{\cdot}67$ Å and $r_2 = 0{\cdot}75$ to $0{\cdot}76$ Å). — 2. The triangular location of the three bonds is a consequence of the three σ electron system in the C-atom. The restriction of the π bond rotation results in a fixed planar configuration of the molecule. — 3. In the inclined coupling of the π orbits the orbital magnetic moments M_1 and M_2 are not compensated completely as they are not parallel. This remnant moment produces a small paramagnetic effect which decreases the diamagnetism of the molecule, thus providing an explanation for the Pascal's correction factor. This residual magnetic moment acts along the axis of the molecule which accounts for the diamagnetic anisotropy. The incomplete coupling of the π electrons is responsible for the chemical reactivity in addition reactions. It also influences the heat of hydrogenation, heat of combustion, force constant etc. — 4. In a covalent bond the orbital magnetic moments are considered to be neutralised only in an over-all magnetic sense. They are all the time present but with opposite alignment of polarities. Their local effect is not felt normally due to the rotation of the σ orbits. But in a π bond this magnetic influence should be appreciable due to the fixed planes of its orbits. It would tend to orientate other electron orbits parallel to the plane of the π orbit. This tendency causes a slight decrease in the bond angle between the two single bonds attached to the double bond (from 120° to 118° or less). — 5. The dipole moments and the chemical properties of the attached atoms are modified in many ways. The magnetic influence of the π orbit disturbs their symmetry of electron density. The nuclear charge of the C-atom is less efficiently screened by three σ electrons in the directions of the attached atoms, on which it exerts an inductive polarising influence. The electrons of the covalent bonds are also slightly drawn to this carbon atom. All these factors combine together to decrease the negative charge on Cl-atom in $CH_2{=}CH \cdot Cl$ and it loses its chemical reactivity.

Extension of this new concept to the nature of the aromatic bond will be communicated shortly.

C-34 National Chemical Laboratory Colony, Poona 8 (India)

Lakhbir Singh

Eingegangen am 29. August 1956

[1]) Lonsdale, K.: Proc. Roy. Soc. Lond., Ser. A 171, 541 (1939).

Zur Konstitutionsabhängigkeit der CH-Wagging-Bande substituierter p-Benzochinone

Nach Untersuchungen von YATES, ARDAO und FIESER[1]) zeigen die IR-Spektren von p-Benzochinonen mit einem oder mehreren isolierten Kernwasserstoffen eine mittlere oder starke Bande im Gebiet 877 bis 917 cm^{-1}, p-Benzochinone mit zwei benachbarten Kernwasserstoffen eine solche im Gebiet 807 bis 840 cm^{-1}. Diese Banden werden von den Autoren der CH-Wagging-Schwingung zugeordnet. Eine Ausnahme, auf die die Autoren nicht ausdrücklich hinweisen, bildet das p-Benzochinon selbst, das nach ihren Messungen in Schwefelkohlenstoff bei 879 cm^{-1}, nach unseren Messungen in Tetrachlorkohlenstoff bei 883 cm^{-1} absorbiert, also bei wesentlich höherer Wellenzahl als die obere Grenze des für p-Benzochinone mit zwei benachbarten Kernwasserstoffen angegebenen Bereiches. Die von uns zusätzlich in Tetrachlorkohlenstoff gemessenen alkyl- und arylsubstituierten p-Benzochinone ordnen sich in die angegebenen Bereiche ein, die Oxy-p-benzo-chinone absorbieren zum Teil bei höherer Wellenzahl.

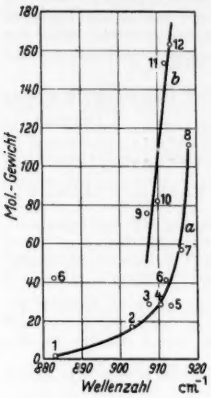


Fig. 1. Die Wellenzahl der CH-Wagging-Bande alkyl- und arylsubstituierter p-Benzochinone (Abszisse) in Abhängigkeit vom Molekulargewicht der Substituenten (Ordinate). 1. p-Benzochinon, 2. Toluchinon, 3. Äthylchinon (nach FIESER u. a., in Schwefelkohlenstoff gemessen), 4. p-Xylochinon, 5. m-Xylochinon, 6. Pseudocumochinon, 7. Thymochinon, 8. 2,5-Di-tert. butyl-p-benzochinon, 9. Phenyl-p-benzochinon, 10. Cyclohexyl-p-benzochinon, 11. 2,5-Di-phenyl-p-benzochinon, 12. 2,5-Di-cyclohexyl-p-benzochinon

Innerhalb der Gruppe der p-Benzochinone mit isoliertem Kernwasserstoff fanden wir Zusammenhänge zwischen der Lage der CH-Wagging-Bande und der Art der Substitution. Bei alkyl- und arylsubstituierten p-Benzochinonen wird diese Bande generell mit wachsender Anzahl und Größe der Substituenten nach höheren Wellenzahlen verschoben.

Wie Fig. 1, in der die Lage der CH-Wagging-Bande gegen das Molekulargewicht der Substituenten aufgetragen ist, zeigt, gilt diese Regel nur innerhalb bestimmter Verbindungsgruppen. Die alkylsubstituierten p-Benzochinone liegen auf der Kurve *a*. Eine Ausnahme bildet das Pseudocumochinon, dessen Hauptbande in diesem Gebiet bei 883 cm^{-1} liegt (eine zweite, schwache Bande fällt in den Bereich der Kurve *a*). Die mit Cyclohexyl- bzw. Phenylgruppen substituierten p-Benzochinone liegen auf der Kurve *b*. Daß dieser Einteilung möglicherweise eine reale Bedeutung zukommt, zeigt ein Vergleich mit den UV-Spektren dieser p-Benzochinone. Die mittlere der drei charakteristischen Banden im UV-Spektrum von p-Benzochinonen wird dem gesamten Chinonsystem zugeschrieben. Bei den substituierten p-Benzochinonen der Kurve *a* liegt diese Bande konstant bei 308 bis 310 mμ (für Äthylchinon nicht bekannt). Pseudocumochinon, das aus der Kurve *a* herausfällt, absorbiert im UV wesentlich langwelliger, bei 332 mμ, die Cyclohexyl-p-benzochinone bei 316 mμ[2]). Bei den Phenyl-p-benzochinonen ist ein Vergleich der Banden nicht ohne weiteres möglich.

Für substituierte Oxy-p-benzochinone gelten ähnliche Beziehungen. Ein ausführlicher Bericht über unsere Beobachtungen an den IR-Spektren von 40 p-Benzochinonen soll demnächst an anderer Stelle gegeben werden.

Für die Unterstützung dieser Untersuchungen durch Bereitstellung von Mitteln danken wir der Forschungsgemeinschaft und dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

W. FLAIG und J. CHR. SALFELD

Eingegangen am 30. August 1956

[1]) YATES, P., M.I. ARDAO u. L.F. FIESER: J. Amer. chem. Soc. **78**, 650 (1956).
[2]) FLAIG, W., TH. PLOETZ u. A. KÜLLMER: Z. Naturforsch. **10 b**, 668 (1955).

Lage der ν_{as}-CN_2- und der δ-NH-Schwingungen im Infrarotspektrum des symmetrischen Dimethylharnstoffs

Nach R. MECKE und R. MECKE[1]) soll allgemein für die Gruppierung (I) (X = O oder S) die Bande bei ~1550 cm^{-1} (als Amid II-Bande bezeichnet) weitgehend δ-NH-Charakter und die Bande bei ~1300 cm^{-1} (als Amid III-Bande bezeichnet) weitgehend ν-CN-Charakter besitzen. Durch Deuterierung des symmetrischen Dimethylharnstoffs wurde entsprechend der Zuordnung von MIZUSHIMA[2]) und analog den Ergebnissen über die Methylenharnstoffe[3]) gefunden, daß die Zuordnung für den symmetrischen Dimethylharnstoff betreffs dieser Banden umgekehrt vorzunehmen ist. Während der Austausch durch mehrfaches Umkristallisieren aus schwerem Wasser nur eine unvollständige Deuterierung ergab, gelang die praktisch vollständige Deuterierung in Gegenwart einer geringen Menge Eisessig. Die Aufnahme erfolgte dann von einer Lösung von 30% $CH_3NDCONDCH_3$ in D_2O. Eine Vergleichsaufnahme an einer Lösung von 30% $CH_3NHCONHCH_3$ in H_2O wurde durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Amid II-Bande nach der Deuterierung von 1580 auf 1522 cm^{-1} fällt, während die Amid III-Bande, die bei der Festkörperaufnahme bei 1263 cm^{-1} gefunden wird und in wäßriger Lösung aufspaltet (1286 und 1342 cm^{-1}), nach der Deuterierung in diesem Bereich ganz verschwindet und offensichtlich in den bei der wäßrigen Lösung nicht mehr beobachtbaren Bereich unter 1150 cm^{-1} fällt. Die Amid III-Bande wird also durch die Deuterierung stärker verschoben als die Amid II-Bande. Unter Vernachlässigung der vorliegenden Kopplungsbeziehung beider Schwingungen kann somit im symmetrischen Dimethylharnstoff die Bande bei 1580 cm^{-1} als ν_{as}-CN_2 und die bei 1263 cm^{-1} als δ-NH bezeichnet werden. Die bei 1412 cm^{-1} liegende Bande (δ_s-CH_3) wird erwartungsgemäß durch Deuterierung nicht beeinflußt, während die Amid I-Bande bei 1624 cm^{-1} (ν-C=O) durch die Deuterierung nur einen geringen Abfall erleidet (1603 cm^{-1}).

Labor für Anorganische Chemie, Technische Hochschule, Stuttgart

H. J. BECHER und F. GRIFFEL

Eingegangen am 15. September 1956

[1]) MECKE, R., u. R. MECKE: Chem. Ber. **89**/2, 343 (1956).
[2]) MIYAZAWA, TATSUO, TAKEHIKO SHIMANOUCHI u. SAN-ICHIRO MIZUSHIMA: J. Chem. Physics **24**, 408 (1956).
[3]) BECHER, H. J.: Chem. Ber. **89**/7, 1593 (1956).

Sensibilisierte Phosphoreszenz und charge transfer-Fluoreszenz in organischen Molekelverbindungen[1]), [2])

I. Eine Reihe zur Zeit im Gange befindlicher Untersuchungen haben das Ziel, das Fluoreszenzverhalten von Molekelverbindungen (MV) aufzuklären, deren zwischenmolekulare Bindung auf Grund ihres optischen, dielektrischen und thermodynamischen Verhaltens als Donator-Akzeptorbindung mit zwischenmolekularer Mesomerie[3]) zu deuten ist. Besonders eingehend untersucht sind von diesem MV-Typ die Verbindungen des Trinitrobenzols (TNB) mit aromatischen Kohlenwasserstoffen (KW)[2]). REID[4]), [5]) hat gefunden, daß diese MV bei − 180° sowohl in Lösung als auch als Festkörper lumineszieren. Er deutet diese Lumineszenz als (Triplett-Singlett-) Phosphoreszenz der KW-Komponente: das Elektron, das durch die Lichtabsorption vom KW zum TNB überführt wird („charge transfer-Absorption"), geht dann strahlungslos in das niedrigste Triplettniveau des KW und kehrt von dort unter Strahlung in den Grundzustand zurück. Das Übergangsverbot für die Triplett-Singlett-Emission des KW soll im Felde des TNB weitgehend gelockert sein, so daß damit die von REID[5]) geschätzten, relativ kurzen Abklingzeiten von 10^{-4} sec erklärt werden können. Die Deutung von REID hat jedoch zu einigen falschen Schlüssen und zu Unstimmigkeiten in der Literatur geführt (s. Teil III dieser Mitteilung) und kann, wie eine genauere experimentelle Überprüfung ergab, keineswegs als gesichert angesehen werden. Es soll hier kurz über vorläufige Ergebnisse systematischer Untersuchungen berichtet werden, in deren Verlauf zwei von dem REIDschen Mechanismus abweichende Lumineszenzvorgänge bei MV entdeckt wurden.

Einer der eingeschlagenen experimentellen Wege war die Untersuchung der Lumineszenz von MV, die an Stelle des TNB andere Akzeptorkomponenten enthalten. Es wurde von uns eine ganze Reihe von Akzeptoren gefunden, die mit KW *fluoreszenzfähige* MV geben. Wir haben uns dabei nicht auf Polynitroverbindungen beschränkt, sondern auch andere

Substanzen untersucht, deren Tendenz zur Bildung stabiler MV mit KW bekannt ist[6]). Dabei sind wir auch auf das von TERENIN und ERMOLAEV[7]) an anderen Systemen entdeckte und näher untersuchte Phänomen der sensibilisierten Phosphoreszenz gestoßen. Tetrachlorphthalsäureanhydrid (TCPA), das mit einer Abklingzeit von einigen Zehntelsekunden blau phosphoresziert, gibt mit Naphthalin und einigen anderen KW MV, die sowohl in Lösung als auch als feste Substanzen sensibilisierte Phosphoreszenz zeigen. Diese MV emittieren bei $-180°$ das unveränderte Phosphoreszenzspektrum des Naphthalins mit ebenfalls *unveränderter* Abklingzeit bereits bei Anregung mit Hg 3650. Es bestehen jedoch drei wesentliche Unterschiede gegenüber den von TERENIN untersuchten Systemen:

1. Die beiden Komponenten des Systems bilden (auch in den konzentrierten Lösungen) eine *stabile MV*; 2. das Primärlicht (3650 Å) wird in diesen Lösungen und im Festkörper nicht vom „Sensibilisator" TCPA, sondern weitgehend von der MV durch ihre charakteristische charge transfer-Bande absorbiert; 3. die Konzentrationen, bei denen in Lösung bereits weitgehend Energieübertragung stattfindet, sind erheblich kleiner als bei den von TERENIN untersuchten Systemen (10^{-5} bis 10^{-4} mol/Liter gegenüber 0,1 bis 1 mol/Liter). In diesen hochverdünnten Lösungen liegt nur ein geringer Prozentsatz der gelösten Substanz als MV vor. Der Energieübergang ist offenbar nicht direkt an die Existenz der MV gebunden.

II. Nicht alle Komplexe des TCPA mit KW zeigen eine sensibilisierte Phosphoreszenz. Die MV mit Hexamethylbenzol und Anthracen z. B. lumineszieren zwar auch, doch hat das Spektrum keinerlei Beziehung zu dem entsprechenden Phosphoreszenzspektrum der KW-Komponente (Anthracen: ultrarote Phosphoreszenz[8]), MV TCPA-Anthracen: gelbe Fluoreszenz; Hexamethylbenzol: blaue Phosphoreszenz, MV TCPA-Hexamethylbenzol: gelbgrüne Fluoreszenz). Diese MV fluoreszieren im kristallinen Zustand, wie wir beobachtet haben, bereits bei normaler Temperatur zum Teil sehr intensiv, d.h. mit hohen Quantenausbeuten, die MV TCPA-Hexamethylbenzol fluoresziert bei Zimmertemperatur sogar schon in Lösung. Eine Messung der Abklingzeiten ergab Werte zwischen 3 und $10 \cdot 10^{-9}$ sec. Diese experimentellen Befunde sprechen für eine *Fluoreszenz*, und zwar handelt es sich um die Umkehrung der charge transfer-Absorption (s. auch Teil III).

Wie man sieht, ist die Bedingung für das Auftreten der sensibilisierten Phosphoreszenz, die TERENIN und ERMOLAEV für die von ihnen untersuchten Lösungen gefunden haben (das Triplett-Niveau des Sensibilisators muß höher als das des sensibilisierten KW liegen), für die von uns untersuchten Systeme zwar eine wahrscheinlich notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung. Sie ist im Falle TCPA-Anthracen erfüllt, trotzdem zeigt die MV keine sensibilisierte Phosphoreszenz, sondern charge transfer-Fluoreszenz.

III. Unsere Versuche erlauben auch eine Beseitigung der Unstimmigkeiten, die sich im Anschluß an die REIDsche[4]), [5]) Deutung der Emissionsspektren der MV des TNB als Phosphoreszenzspektren der KW-Komponente ergaben. Sie betreffen die Lage des niedrigsten Triplett-Niveaus des Anthracens[8]), [9]) und die Spiegelsymmetrie zwischen der charge transfer-Absorptionsbande und der REIDschen Emissionsbande bei der MV TNB-Anthracen[10]).

Es kann als sicher gelten, daß das niedrigste Triplett-Niveau des Anthracens bei 14900 cm^{-1} liegt[8]), [11]). Die Zuordnung bei 19000 cm^{-1}, die REID auf Grund des Emissionsspektrums der MV TNB-Anthracen gegeben hat (das nach seiner Theorie mit der Phosphoreszenzbande des Anthracens identisch ist), ist somit unrichtig. Unsere Messungen zeigen, daß die Lumineszenz dieser MV gar keine Phosphoreszenz, sondern eine Fluoreszenz ist, und zwar, wie bei den MV des TCPA mit Hexamethylbenzol und Anthracen, die Umkehrung der charge transfer-Absorption. Den Beweis für diese Auffassung sehen wir darin, daß diese Verbindung im kristallisierten Zustand ebenfalls bei Zimmertemperatur mit einer Abklingzeit von etwa $5 \cdot 10^{-9}$ sec fluoresziert. Diese Abklingzeit ist mit den für charge transfer-Banden gefundenen Oszillatorenstärken (*f*-Wert) von etwa 0,1[2]) gut zu vereinbaren, wenn man die Quantenausbeute zu 20% annimmt. Außerdem ändert sich die Lage der Emissionsbande der MV des Anthracens bei Variation der Akzeptorkomponente, und zwar parallel mit der Verschiebung der charge transfer-Absorptionsbande. Dies zeigt, daß die Emission in keinem Zusammenhang mit dem Triplett-Niveau des Anthracens steht. Unsere Deutung der Emission als charge transfer-Fluoreszenz erklärt auch die von KETELAAR[10]) gefundene Spiegelsymmetrie, deren Existenz nach der REIDschen Auffassung, die Absorption und Emission in diesen MV verschiedenen Mechanismen zuordnet, als nur zufällig erklärbar ist[12]).

Auch für die MV TNB-Hexamethylbenzol gilt unsere Deutung (Abklingzeit bei Zimmertemperatur etwa $2 \cdot 10^{-9}$sec). Ob sie jedoch generell für die von REID gemessenen Emissionsspektren der MV des TNB zutrifft, können wir zur Zeit noch nicht entscheiden.

Eine ausführliche Darstellung der Meßmethoden und der Ergebnisse erfolgt nach Abschluß der Messungen an anderer Stelle. Eine erste Veröffentlichung in der Zeitschrift für Elektrochemie ist in Vorbereitung. Die Messung der Abklingzeiten wurde von Herrn Dr. SCHMILLEN, Physikalisches Institut der Justus-Liebig-Hochschule, Gießen, mit einem Phasenfluorometer[13]) durchgeführt. Wir danken dem Direktor des Instituts, Herrn Professor HANLE, und Herrn Dr. SCHMILLEN sehr für ihr Entgegenkommen. Außerdem habe ich Herrn Professor BRIEGLEB für seine Förderung der Arbeiten durch Mittel des Instituts und der Deutschen Forschungsgemeinschaft herzlich zu danken.

Institut für Physikalische Chemie der Universität, Würzburg

J. CZEKALLA

Eingegangen am 14. September 1956

[1]) Untersuchungen über die zwischenmolekulare Bindung durch intermolekulare Mesomerie V.

[2]) IV. Mitteilung: G. BRIEGLEB u. J. CZEKALLA, Z. Elektrochem. **59**, 184 (1955).

[3]) MULLIKEN, R. S.: J. Amer. Chem. Soc. **74**, 811 (1952).

[4]) REID, C.: J. Chem. Physics **20**, 1212 (1952).

[5]) MOODIE, M. M., u. C. REID: J. Chem. Physics **22**, 252 (1954).

[6]) PFEIFFER, P.: Organische Molekülverbindungen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1927.

[7]) TERENIN, A., u. V. ERMOLAEV: Dokl. Akad. Nauk SSSR. **85**, 547 (1952). — ERMOLAEV, V.: Dokl. Akad. Nauk SSSR. **102**, 925 (1955). — TERENIN, A., u. V. ERMOLAEV: Trans. Faraday Soc. **52**, 1042 (1956).

[8]) MCGLYNN, S. P., M. R. PADHYE u. M. KASHA: J. Chem. Physics **23**, 593 (1955).

[9]) REID, C.: Chem. Physics **20**, 1214 (1952).

[10]) BIER, A., u. J. A. A. KETELAAR: Recueil Trav. chim. Pays-Bas **73**, 264 (1954).

[11]) CLAR, E., u. M. ZANDER: Chem. Ber. **89**, 749 (1956).

[12]) CZEKALLA, J.: Physik. Verh. **6**, 104 (1955).

[13]) SCHMILLEN, A.: Z. Physik **135**, 294 (1953).

Über Komplexe von Benzimidazolen mit Nickelsalzen

Im Verlauf von Untersuchungen über die Komplexbildung von Benzimidazol und seinen Abkömmlingen mit Nickelsalzen machten wir die Beobachtung, daß neben Komplexen des Typs Lig_2NiX_2 auch solche der Zusammensetzung Lig_4NiX_2 häufiger erhältlich waren. Diese entsprechen in ihrem Aufbau sehr wahrscheinlich dem bekannten Tetramminotyp $[Ni(NH_3)_4]X_2$, denn es stellte sich heraus, daß das Benzimidazol und seine Alkylderivate nach allem nur koordinativ 1-zählig fungieren und das Nickel dementsprechend, wie oft beobachtet, auch hier sich lediglich koordinativ 4-zählig betätigt. Diese Komplexe sehen im allgemeinen hellgrün bzw. grau oder auch blau aus, je nachdem, welches Anion mit dem Komplexion gepaart ist. Folgende Beispiele mögen das beleuchten: $[Ni(N\text{-äthyl-Bzm})_4]Cl_2$ grau, $[Ni(N\text{-}C_2H_5\text{-Bzm})_4]Br_2$ hellgrün, $[Ni(N\text{-methyl-Bzm})_4]Br_2$ hellgrün bzw. grau, $[Ni(N\text{-methyl-Bzm})_4](SCN)_2$ hellblau.

Im magnetischen Verhalten entsprechen diese Verbindungen den gewöhnlichen Nickelsalzen, d.h., sie weisen Paramagnetismus von der Größenordnung des Nickelions auf und gehören demgemäß zum Typ der Normalkomplexe. Um so überraschender war nun die Feststellung, daß mit Nickelperchlorat bzw. Nickelborfluorid *orangefarbige* Komplexe analoger Zusammensetzung, nämlich $[Ni(N\text{-Methyl-Bzm})_4](ClO_4)_2$ bzw. $(BF_4)_2$ entstanden, die sich als *diamagnetisch* erwiesen und somit den Durchdringungskomplexen zuzurechnen sind. Komplexe gleicher Zusammensetzung und gleichen Verhaltens entstanden auch, als das N-Methylbenzimidazol durch Benzimidazol selbst, durch N-Äthylbenzimidazol und durch N-n-Propylbenzimidazol ersetzt wurde. Nur beim Zusammenbringen von 1.2-Dimethylbenzimidazol, N-iso-propylbenzimidazol und N-isoamylbenzimidazol mit Nickelperchlorat unterblieb die Bildung der gelborangefarbigen Tetramminkomplexe.

Die so mehrfach gesicherte Existenz orangefarbiger und diamagnetischer Tetramminkomplexe des obigen Typs erscheint in verschiedener Hinsicht bemerkenswert. Einmal sind sie unseres Wissens die ersten Beispiele von kationischen Tetramminkomplexen mit den hervorgehobenen Eigenschaften, in denen die 4 Koordinationsstellen des Nickels nicht durch

mehrzählige Liganden mittels Chelatbindung, sondern durch vier 1-zählig fungierende Aminmolekeln beansprucht werden, und dann ist auffallend, daß nur in Kombination mit so wenig deformierbaren Anionen wie dem Perchlorat- und dem analog gebauten Tetrafluorboratanion diese Durchdringungskomplexe als solche genügend stabilisiert und dadurch erfaßbar werden.

Angesichts der Plananordnung, die nach L. PAULING Nikkelkomplexen mit den genannten Eigenschaften zukommt, dürfte das Ausbleiben dieses Komplextyps beim Einsatz von Benzimidazolen mit mehreren bzw. sperriger oder voluminöser gestalteten Alkylsubstituenten durch sterische Hinderung bedingt sein.

Jena, Institut für Anorganische Chemie der Friedrich-Schiller-Universität

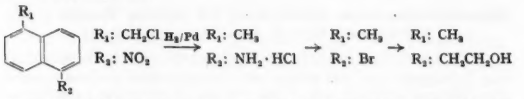
FR. HEIN und M. ZIMMERMANN

Eingegangen am 12. September 1956

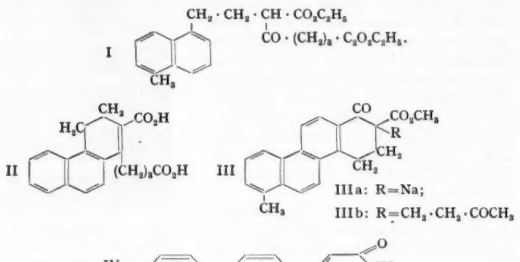
A Synthesis of 2:9-Dimethylpicene

In an earlier communication[1]), a new route to the synthesis of picene was described by the application of ROBINSON-MANNICH base synthesis of unsaturated ketones[2]) to 2-ethoxycarbonyl-1-oxo-1:2:3:4-tetrahydrochrysene. This method has now been extended to effect a synthesis of 2:9-dimethylpicene through fewer steps than hitherto has been employed.

Ethyl α-(5-methyl-l-naphthyl) ethyl-β-oxo-pimelate (I) obtained by the condensation of β-(5-methyl-l-naphthyl) ethyl bromide[3]) with ethyl 4:6-dioxoheptane-1:5-dicarboxylate was cyclised by concentrated sulphuric acid to give the unsaturated acid (II), m.p. 225°. β-(5-methyl-l-naphthalene) ethanol required for this purpose was prepared through the following sequence:



The dimethyl ester of (II), on dehydrogenation and alkaline hydrolysis furnished the corresponding aromatic acid, m.p. 238°, the methyl ester of which, m.p. 113°, was submitted to DIECKMANN cyclisation. The resulting sodio-derivative (IIIa) was treated with a methanolic solution of the methiodide of 1-N-piperidino-3-butanone[4]) and the product worked up in the usual way to furnish (IIIb), m.p. 233°, in an excellent



yield. This was converted into the unsaturated ketone (IV), m.p. 313°, by heating with acetic acid and hydrochloric acid mixture. The ketone (IV) was finally converted into 2:9-dimethyl picene by the action of excess methylmagnesium iodide followed by simultaneous dehydration and dehydrogenation by 30% palladium-charcoal. On purification by chromatography and crystallisation, it melted at 303 to 304°.

Department of Chemistry, University College of Science and Technology, Calcutta-9, India

D. NASIPURI

Eingegangen am 10. September 1956

[1]) NASIPURI, D.: Chem. a. Ind. **1956**, 795.
[2]) FEU, E.C. DU, F.J. MCQUILLIN and R. ROBINSON: J. Chem. Soc. [London] **1936**, 53. — WILDS, A.L., and C.H. SHUNK: J. Amer. Chem. Soc. **65**, 469 (1943).
[3]) NEWMAN, M.S., and W.K. CLINE: J. Org. Chem. **16**, 934 (1951).
[4]) WILDS, A.L., and R.G. WERTH: J. Org. Chem. **17**, 1149 (1952).

Organische Katalysatoren*). Chelatkatalysen II

In einer kürzlich erfolgten Veröffentlichung[1]) war festgestellt worden, daß ein Arginin-Kupfer-Komplex die Wasserstoffperoxydzersetzung besonders stark katalysiert. Von zahlreichen Aminosäure-Metall-Komplexen hatten außer dem Arginin-Kupfer nur noch Citrullin- und Histidin-Kupfer erhebliche Wirkung. Zwei Erscheinungen bei diesen Katalysen gaben Anlaß zu weiteren Untersuchungen. Einmal verschob sich das p_H der Lösung während des Reaktionsablaufs stark ins saure Gebiet, und zum andern führte ein Überschuß an Aminosäuren zu einem verzögerten Beginn der Sauerstoffentwicklung. Die erforderlichen volumetrischen Messungen wurden mit einer geschlossenen Schüttelanordnung ausgeführt, wobei das gewünschte p_H mit Hilfe eines Meßgerätes (Glaselektrode) durch kontinuierliches Nachgeben von verdünnter Natronlauge in engen Grenzen konstant gehalten wurde.

Das erste Ergebnis dieser Untersuchungen war, daß Kupfer nur mit der doppelten Argininmenge einen fast augenblicklich wirkenden Komplex bildet. Trotzdem geht auch hier schon eine äußerst kurze Latenzzeit vorauf, die sich bei Vergrößerung der Argininmenge rasch ausdehnt und bei einem Molverhältnis Kupfer:Arginin = 1:5 unter den angewandten

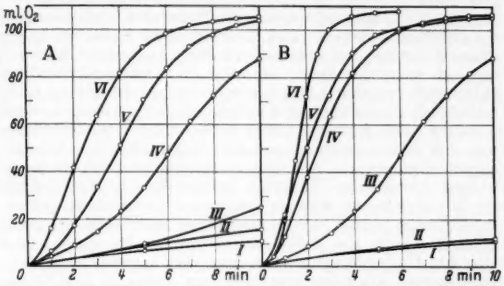


Fig. 1 A u. B. Wasserstoffperoxydzersetzung durch Kupferkomplexe bei p_H 8. Gemessen wurde die Sauerstoffentwicklung einer 0,091 m H_2O_2-Lösung durch 10^{-4} Mol Cu^{++} + Komplexbildner (1:1 bzw. 1:2). Links (A): *I* Brenztraubensäure; *II* α-Ketoglutarsäure; *III* Butyraldehyd + Arginin; *IV* Arginin; *V* Brenztraubensäure + Arginin; *VI* α-Ketoglutarsäure + Arginin. Rechts (B): *I* Alanin; *II* Glutaminsäure; *III* Arginin; *IV* Alanin + Arginin; *V* Glutaminsäure + Arginin; *VI* Arginin + Arginin

Versuchsbedingungen etwa 20 min beträgt. Wie sich nun papierchromatographisch und kolorimetrisch zeigen ließ, nimmt während dieser Latenzperiode der nachweisbare Aminosäuregehalt der Lösung fortwährend ab, um im Augenblick des Wirkungsmaximums praktisch Null zu werden.

Die Möglichkeit, daß radikalische Oxydationsprodukte des Arginins den schnellen Ablauf der Wasserstoffperoxydzersetzung bedingen, konnte ausgeschlossen werden, da weder Hitzebehandlung noch Eindampfen der durch Wasserstoffperoxyd aktivierten, schwach alkalischen Reaktionslösung zu einer wesentlichen Verminderung der Zersetzungsgeschwindigkeit führten. Die starke Abnahme der Aktivität nach Säurebehandlung ließ dagegen vermuten, daß eine Verbindung aus Arginin und einem seiner Oxydationsprodukte für die Bildung eines neuen, mit Kupfer katalasewirksamen Chelates verantwortlich zu machen sei. Diese Vermutung verdichtete sich durch Messungen, die mit einer Reihe möglicher Oxydationsprodukte des Arginins allein bzw. einigen Guanidinderivaten vorgenommen wurden. Sie erwiesen sich sämtlich als mehr oder weniger indifferent. Bedenkt man ferner, daß die Basizität der Lösung besonders zu Beginn der Katalyse stark abnimmt, so darf man annehmen, daß der Katalyse die Bildung einer SCHIFFschen Base aus Arginin und der entsprechenden Ketosäure[2]) oder dessen Aldehyd vorausgeht.

Leider standen die α-Keto-δ-guanidino-valeriansäure und der ω-Guanidino-butyraldehyd bisher nicht zur Verfügung, so daß eine Vorentscheidung zunächst durch einfachere Verbindungen fallen mußte. Tatsächlich ließ sich fehlendes Arginin teilweise durch Brenztraubensäure oder α-Ketoglutarsäure ersetzen. Wie Fig. 1 A zeigt, wird der Wasserstoffperoxydumsatz einer äquimolaren Kupfer-Arginin-Lösung durch ein weiteres Mol Brenztraubensäure mehr als verdoppelt, durch α-Ketoglutarsäure sogar etwa vervierfacht. Hingegen könnte die Hemmung, die bei Zusatz von Butyraldehyd erfolgt, bedeuten, daß auch im Falle des Arginins nur die entsprechende Ketosäure wirksam ist.

In Konsequenz zu den bisherigen Feststellungen müßten aber auch andere Aminosäuren Arginin aktivieren, sofern letzteres im Unterschuß vorliegt. Auch das bestätigte sich, wie aus Fig. 1B hervorgeht. Von den nicht aufgeführten Aminosäuren stimmten Glycin und Serin in ihrer Wirkung mit Alanin vollkommen überein. Asparaginsäure aktivierte etwas weniger stark als Alanin, Histidin und Lysin erheblich weniger.

Den Mitarbeiterinnen Frau M. BETHGE und Fräulein M. WESTENDORF sei für ihre fleißigen und zuverlässig durchgeführten Meßarbeiten auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

Rostock, Institut für Katalyseforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Direktor: Prof. Dr. W. LANGENBECK)

H. MIX

Eingegangen am 5. September 1956

*) 38. Mitteilung. — 37. Mitteilung: LANGENBECK, W., K. RÜHLMANN, H.H. REIF u. F. STOLZE: J. prakt. Chem. (im Druck).

1) MIX, H., W. TITTELBACH-HELMRICH u. W. LANGENBECK: Chem. Ber. 89, 69 (1956).

2) JOHNSON, G.R.A., G. SCHOLES u. J. WEISS: Science [Lancaster, Pa.] 114, 412 (1951).

Verfahren zur Trennung und zum Nachweis flüchtiger Alkylamine

Seit den Untersuchungen von BRIEGER[1]), EHRENBERG[2]) u. a. sind im Pflanzen- und Tierreich eine Reihe flüchtiger biogener Amine nachgewiesen worden. In neuerer Zeit hat man sich dabei mit Erfolg der Mikrogaskammermethode von KLEIN und STEINER[3]), [4]), [5]) sowie der Papierchromatographie bedient[5]), [6]). Beide Verfahren haben jedoch ihre Grenzen, wenn es darum geht, mehrere Amine nebeneinander nachzuweisen bzw. von Ammoniak und anderen stickstoffhaltigen Verbindungen abzutrennen, wie dies im allgemeinen bei Untersuchungen biologischen Materials notwendig ist. Bei der ersten Methode lassen sich die erhaltenen 2,4-Dinitronaphtholaminkristalle häufig nicht einwandfrei mikroskopisch identifizieren. Auch die Berücksichtigung des Schmelzpunktes sowie des Umlagerungspunktes usw. läßt keine sichere Identifizierung zu, vor allem wenn mehrere Amine in ungleichem Mengenverhältnis nebeneinander vorliegen. Bei der Papierchromatographie der durch Wasserdampfdestillation von anderen N-haltigen Verbindungen abgetrennten Amine stören nahezu immer Ammoniumionen. Weiterhin liegen bei den in der Literatur angegebenen Verteilungsgemischen die R_f-Werte einzelner Amine so dicht beieinander, daß eine sichere Identifizierung häufig in Frage gestellt ist. Besonders kraß wirkt sich dieser Umstand bei der Trennung von Mono-, Di- und Trimethylamin aus.

Bei eigenen Untersuchungen haben wir eine Aufarbeitung entwickelt, die es gestattet, Amine von Ammoniak abzutrennen und nebeneinander papierchromatographisch nachzuweisen. Bei dieser Methode wird das mit Magnesiumoxyd oder Natriumcarbonat vorsichtig alkalisierte Material (wir haben diese Methode zunächst auf Harn und Eiter angewendet) im guten Vakuum bei 20 bis 25° C wasserdampfdestilliert. Das Destillat wird in n-HCl aufgefangen und die deutlich saure Vorlage wiederum im Vakuum zur Trockne gebracht. Die Aminhydrochloride sowie das meist überschüssige Ammoniumchlorid werden über Phosphorpentoxyd getrocknet und sodann im Mikrosoxhletapparat 3 Std lang mit Chloroform extrahiert. Dabei gehen tertiäre, sekundäre und primäre Amine außer Methylamin als Hydrochloride in Lösung (Extrakt I). Der in Chloroform unlösliche Anteil wird in wenig Wasser gelöst, mit gelbem Quecksilberoxyd versetzt und mittels Sodalösung auf p_H 8 gebracht. Diese Lösung wird nun in einer dunklen Flasche 1 Std lang geschüttelt und anschließend 12 Std stehen gelassen. Nach dieser Zeit wird der Rückstand abfiltriert und die Lösung nach Ansäuern wiederum im Vakuum zur Trockne eingeengt. Der Trockenrückstand wird mit wenig absolutem Alkohol behandelt, wobei Methylaminhydrochlorid in Lösung geht (Extrakt II), während Ammoniumchlorid nahezu vollständig ungelöst bleibt. Extrakt I und II werden nun jeweils auf ein kleineres Volumen gebracht (1 bis 5 cm³) und papierchromatographisch getrennt. In Fällen, wo der Nachweis von Methylamin nicht interessiert, wird die Aufbereitung nur bis zum Extrakt I vorgenommen.

Als geeignetstes Lösungsmittelgemisch erwies sich das von CLAYTON und STRONG[7]) angegebene Methyläthylketon-Propionsäure-Wasser-Gemisch im Verhältnis 75:25:30, welches aszendierend verwendet wird. Der Nachweis auf dem Papier (Schleicher & Schüll 2043b Mgl) erfolgt mittels Ninhydrinfärbung und im Falle tertiärer Amine durch Joddämpfe im Exsikkator.

Mit Hilfe der beschriebenen Aufarbeitung gelang es uns, folgende primäre, sekundäre und tertiäre Amine von Ammoniak und Monomethylamin abzutrennen und nebeneinander papierchromatographisch nachzuweisen: Äthylamin (R_f 0,57), n-Propylamin (R_f 0,69), i-Propylamin (R_f 0,65), n-Butylamin (R_f 0,70), i-Amylamin (R_f 0,80), Allylamin (R_f 0,62), Dimethylamin (R_f 0,55), Diäthylamin (R_f 0,81), Dipropylamin (R_f 0,92), Dibutylamin (R_f 0,96), Di-i-Butylamin (R_f 0,95) und Trimethylamin (R_f 0,53). Monomethylamin, das sich im Extrakt II befindet, hat in dem angegebenen Verteilungsgemisch einen R_f-Wert von 0,55.

Im Harn gesunder Personen konnten wir bisher Methyl- und Propylamin nachweisen. In einigen Eiterproben wurde i-Amyl- und Allylamin gefunden. Dieses letztere Ergebnis bestätigt die mit anderer Methodik erhobenen Befunde von LÖFFLER und WACEK[4]) sowie von ZORN und DIHLMANN[5]).

Physiologisch-Chemisches Institut der Friedrich-Schiller-Universität, Jena (Direktor: Prof. Dr. med. B. ZORN)

F. SCHMIDT und H.-U. BAURIEDL

Eingegangen am 19. September 1956

1) BRIEGER, L.: Hoppe-Seylers Z. 11, 184 (1887).

2) EHRENBERG, A.: Hoppe-Seylers Z. 11, 239 (1887).

3) KLEIN, G., u. M. STEINER: Jb. wiss. Bot. 68, 602 (1928). — STEINER, M., u. LÖFFLER: Jb. wiss. Bot. 71, 463 (1929).

4) WACEK, A. v., u. LÖFFLER: Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. IIb 1934, 143.

5) ZORN, B., u. W. DIHLMANN: Dtsch. Gesundheitswesen 8, 1522 (1953). — DIHLMANN, W.: Naturwiss. 40, 342 (1953).

6) STEINER, M., u. E. STEIN v. KAMIENSKI: Naturwiss. 40, 483 (1953). — SCHWYZER, R.: Acta chem. scand. (Copenh.) 6, 219 (1952).

7) CLAYTON, R.A., u. F.M. STRONG: Ref. Ber. ges. Physiol. u. exp. Pharmakol. 173, 181 (1955).

Papierelektrophoretische Untersuchung der löslichen Proteide grüner Blätter in der Nähe ihrer isoelektrischen Punkte

Die kürzlich beschriebenen[1]), druckdialytisch konzentrierten Lösungen der Proteide aus Tabakblättern, deren hohe Eiweißkonzentration von 5 bis 7% die Anfärbung und Sichtbarmachung auch in geringer Menge vorliegender Komponenten mit Amidoschwarz ermöglicht, wurden zur papierelektrophoretischen Bestimmung der isoelektrischen Punkte der vorliegenden Proteide verwendet. Es wurden je 0,05 bis 0,1 cm³ der Konzentrate in den bei der Mikroelektrophorese nach ANTWEILER benutzten Dialysiergefäßchen je 12 Std unter häufigerem Bewegen der flach auf der Cellophanmembran stehenden Flüssigkeit gegen den gewünschten Puffer dialysiert, der mit der Glaselektrode auf den jeweiligen p_H-Wert eingestellt wurde. Fig. 1 zeigt die dabei erhaltenen Ergebnisse an Konzentraten aus gesunden Tabakblättern.

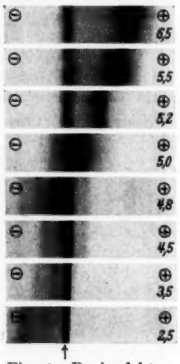


Fig. 1. Papierelektrophorese von druckdialytisch konzentrierten Homogenisaten aus gesunden Tabakblättern bei verschiedenen p_H-Werten. Aufgetragene Menge 10 mm³, Anfärbung mit Amidoschwarz, m/20 Kaliumascorbinat-Kaliumsulfit-Kaliumacetat-Puffer vom p_H-Wert 17, mit ½ Vol. Glycerin versetzt. Laufzeit 3 Std bei 400 V (0,8 mA/Streifen, 16 V/cm). Auftragstelle mit Pfeil markiert

Die Umladung der Hauptkomponente dieser Lösungen erfolgt zwischen p_H 4,8 und 5,0. Dies entspricht etwa den Befunden von COMMONER u. a.[2]) bei der freien Elektrophorese von ähnlich gewonnenen, aber nicht dialytisch konzentrierten Extrakten aus Tabakblättern, deren Hauptkomponente einen isoelektrischen Punkt von 4,6 hatte. Auch die von den Autoren beobachtete Irreversibilität der Flockung am und unterhalb des isoelektrischen Punktes ist in Fig. 1 zu erkennen: Unterhalb von p_H 4,8 bleiben die in alkalischeren Bereichen beweglichen Proteide an der Auftragstelle sitzen. Am isoelektrischen Punkt der Hauptzone bei p_H 4,8 erfolgt eine Aufteilung in einige sonst nicht beobachtete Komponenten: Bei diesem p_H sind sechs verschiedene Zonen zu erkennen. Bei p_H 2,5 sind zwei säurelösliche, kathodisch wandernde Eiweißkörper zu erkennen, deren Löslichkeitsverhalten eine Ähnlichkeit mit den von COMMONER und YAMADA[3]) bei der freien Elektrophorese gefundenen p_H-3,4-löslichen, antigenwirksamen Körpern „A4" und „A8" aus gesunden oder tabakmosaikkranken Tabakblättern nahelegt.

Das beschriebene Verhalten der Proteide in der Nähe ihrer isoelektrischen Punkte soll des weiteren zur Differenzierung der Extrakte oder Konzentrate aus gesunden und viruskranken Pflanzen verwendet werden.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft und Herrn Reg.-Rat Dr. F. SPRAU danke ich für die Unterstützung dieser Arbeiten.

Bayerische Landesanstalt für Pflanzenschutz, München-Nymphenburg

W. KANNGIESSER

Eingegangen am 22. August 1956

[1]) KANNGIESSER, W.: Z. physiol. Chem. **302**, 151 (1955).
[2]) COMMONER, B., F.L. MERCER, PH. MERRILL u. A. J. ZIMMER: Arch. of Biochem. **27**, 271 (1950).
[3]) COMMONER, B., u. M. YAMADA: J. Gen. Physiol. **38**, 459 (1955).

Das Studium der Überführung von Progesteron in Testololacton *)

Im Jahre 1953 wurde von zwei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander die Möglichkeit der Bildung von Testololacton aus Steroiden vom Pregnentyp festgestellt[1]). Im vergangenen Jahre fanden wir eine Reihe weiterer Mikroben, welche ähnliche Umwandlungen durchführen. Es sind dies namentlich: Aspergillus oryzae, A. chevalieri, Penicillium citrinum, P. chrysogenum, P. steckii und weitere neun Penicillienarten. Mittels dieser Stämme verfolgten wir den Stoffwechsel bei Progesteron, Androstendion und Testosteron als Ausgangssubstanz; die Umwandlung verlief bei allen Arten nach folgendem Schema einheitlich, wenn auch mit verschiedener Geschwindigkeit:

$$\text{Progesteron} \rightarrow \begin{matrix}\text{Testosteron}\\ \downarrow\uparrow \\ \text{Androstendion}\end{matrix} \rightarrow \text{Testololacton}$$

Die direkte Bildung von Testosteron aus Progesteron mittels drei anderer Penicillienarten beschrieben wir in der vorangehenden Mitteilung *). Bei jenen drei Arten ist das an der Testosteronbildung beteiligte Enzymsystem wahrscheinlich wesentlich von den hier beschriebenen Arten verschieden.

Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, entsteht Testololacton aus Progesteron und Testosteron mit beinahe gleicher Geschwindigkeit, aus Androstendion jedoch langsamer. Zwischen Androstendion und Testosteron stellt sich ein gewisses Gleichgewicht ein, unabhängig davon, von welchem Steroid man ausgeht. Es wurde auch die Spaltung von 17α-OH-Progesteron mittels A. oryzae untersucht, wobei die Bildung von Testololacton vollkommen übereinstimmend wie aus Progesteron festgestellt wurde (Tabelle 1).

Tabelle 1. *Schema der chromatographischen Ergebnisse bei der Umwandlung von Steroiden in Testololacton mittels A. oryzae*

Die Kreuze geben die relative Konzentration der Metaboliten an (System Benzol: Benzin 7:3).

Ausgangssteroid		Progesteron			Testosteron			Androstendion		
		Fermentationsdauer								
		24 Std	48 Std	72 Std	24 Std	48 Std	72 Std	24 Std	48 Std	72 Std
	$R_f \downarrow$ 0,3									
Testololacton →		+	++	+++		+	++	+++	+	++	+++
(0,37)	0,4									
	0,5									
	0,6									
Testosteron →		++	+		+++	+		+	++	++
(0,63)	0,7									
	0,8									
Androstendion →		+	++		+	++		+++	++	+
(0,86)	0,9									
Progesteron →		+++	+							
(0,96)	1,0									

Tabelle 2. *R_f-Werte bei Papierchromatographie*

(Papier Whatman 1, Imprägnierung mit Formamid)

	I	II		I	II
11α-Oxytestosteron . .	0,02		Adrenosteron .		0,54
11-Ketotestosteron . .		0,11	Progesteron .		0,90
11α-Oxyandrostendion	0,25		Substanz a . .	0,1	
11α-Oxyprogesteron . .	0,55	0,21	Substanz b .		0,38
11-Ketoprogesteron . .		0,76	Substanz c .		0,48

I: Benzol; II: Benzol/Benzin (1:1).

Mittels A. oryzae wurden z. B. 73% Testololacton, berechnet auf Progesteron, isoliert. Bei der Untersuchung von 11-substituierten Progesteronderivaten als Ausgangssubstanz wurden aus 11α-OH-Progesteron neben 10% unverändertem Steroid 20% 11α-OH-Androsten-3,17-dion, 45% 11α-OH-Testosteron und 5% eines weiteren Stoffwechselproduktes (a) festgestellt; aus 11-Ketoprogesteron dann neben 50% Ausgangssubstanz 20% Adrenosteron, 12% 11-Ketotestosteron und zwei weitere Metaboliten (b und c) (Tabelle 2).

Forschungsinstitut für Pharmazie und Biochemie, Praha XII., Kouřimská 17

A. ČAPEK, O. HANČ, K. MACEK, M. TADRA und E. RIEDL-TŮMOVÁ

Eingegangen am 18. September 1956

*) Mikrobielle Umwandlung von Steroiden IV. III. Mitteilung s. Arzneimittel-Forsch. **1956** (im Druck).

[1]) FRIED, J. u. Mitarb.: J. Amer. Chem. Soc. **75**, 5764 (1953). — PETERSON, D. H. u. Mitarb.: J. Amer. Chem. Soc. **75**, 5768 (1953).

Zur Beeinflussung der Zellgrenzflächenpermeabilität durch eine blutzuckersenkende Substanz (Nadisan)

Nadisan (I) (N_1-sulfanilyl-N_2-n-butyl-carbamid) wirkt, oral appliziert, insulineinsparend nicht nur im stoffwechselabnormen diabetischen Organismus, sondern auch bei Stoffwechselgesunden (Schizophrenen) während der Insulinschocktherapie[1]). Der Wirkungsmechanismus von I, der klinisch einem Insulin-Synergismus gleichkommt, ist letztlich noch ungeklärt. Eine offensichtliche Beteiligung der B-Zellen des Pankreas läßt sich tierexperimentellen Befunden entnehmen[2]); ACHELIS[3]) nimmt eine mehr als regulative Inanspruchnahme der Gewebsperipherie im Sinne einer Steigerung endogener Insulinwirkung durch I als sicher an.

Am nichtdiabetischen Stoffwechselgesunden führt I, intravenös in einer Dosierung von 2,0 g/10,0 ml appliziert, nach elektropermeagraphischen Untersuchungsergebnissen (Methode KRAUSE, STORZ, VOELKEL) zu einer Minderung der Grenzflächendurchlässigkeit der Gewebszellen für Elektrolyte, gemessen an $PF/r(D)$ in μS [Mikro-Siemens], dem Permeabilitätsfaktor PF bezogen auf den Polarisationswiderstand der zellulären Doppelschicht $r(D)$ in kΩ. Dieser Effekt läßt sich auf eine Steigerung der verfügbaren Ladungsmenge an Elektrolyten (Kationen) im Doppelschichtbereich $Q(D)$ in 10^{-9} As auf Kosten der Elektrolytbesetzung im zellulären Diffusionsbereich $Q(K)$ in 10^{-9} As zurückführen.

Es resultiert, daß nach intravenöser Darreichung von I eine Elektrolytakkumulation in der Gewebszelle (K^+?) mit Steigerung des zellulären Elektrolytgradienten stattfindet. Allerdings scheint wenig wahrscheinlich, daß es sich hierbei ausschließlich um den Ausdruck einer rein passiven Diffusion im Sinne einer Bewegung entlang eines Aktivitätsgradienten handelt, zumal gleichzeitig der Blutzuckerspiegel um durchschnittlich 23,5 ± 6,8 mg-% absinkt. Die Glukose-Verschwinderate nach I, die diese zelluläre Elektrolytanreicherung begleitet, kennzeichnet diesen Vorgang als Aktivierung eines membrannahen Transfer-Mechanismus durch I. Dieser Vorgang erscheint verwandt der Tatsache, daß sich nach Insulin-

Tabelle 1. *Verhalten von $PF/r(D)$, $Q(D)$, $Q(K)$ nach Nadisan und Glukose i. v.*

Mittelwerte von 18 Versuchspersonen mit Standardabweichung; Angaben in prozentualer Abweichung vom Ausgangswert (Δ%).

	t (min)	$PF/r(D)$	$Q(D)$	$Q(K)$
Nadisan i. v.	1	−13,4 ± 2,4	+ 8,6 ± 1,2	−11,4 ± 1,6
	3	−22,3 ± 2,6	+14,2 ± 1,8	−20,6 ± 2,1
	5	−16,8 ± 2,2	+11,5 ± 1,8	−16,3 ± 1,9
Glukose i. v.	6	− 4,0 ± 1,6	+ 1,8 ± 0,2	− 2,4 ± 0,3
	8	+24,7 ± 2,8	− 6,4 ± 0,6	+10,3 ± 1,6
	10	+19,6 ± 2,2	− 2,2 ± 0,4	+26,5 ± 2,3

zufuhr das Glukoseverteilungsvolumen vergrößert, indem es nunmehr auch den intrazellulären Raum einnimmt[4]).

Wird zu diesem Zeitpunkt (Tabelle 1) extrazellulär Glukose zugeführt (20,0 ml 20%ige Traubenzuckerlösung intravenös), sinkt der zelluläre Elektrolytgradient wieder ab, und die Zellmembranpermeabilität wird verstärkt; die Werte von $PF/r(D)$, $Q(D)$ bzw. $Q(K)$ verhalten sich entgegengesetzt wie nach I. Glukose hebt demnach einen Zellgrenzflächeneffekt von I wieder auf, indem Verschiebungen zellnaher Elektrolytkonzentrationen rückgängig gemacht werden. Dieser I-abhängige Membraneffekt kann als konzentrationsabhängiger Translokationseffekt für Glukose gedeutet werden.

Nervenklinik Waldhaus, Berlin-Nikolassee

A. Voelkel

Eingegangen am 13. September 1956

[1]) Voelkel, A.: Klin. Wschr. **1956**, 210. — Naturwiss. **43**, 208, 355 (1956).
[2]) Kracht, J., u. J. G. Rausch-Stroomann: Naturwiss. **43**, 181 (1956).
[3]) Achelis, J.D.: Germ. Med. J. **1**, 30 (1956).
[4]) Levine, R., u. M.S. Goldstein: XIX. Internat. Physiol. Congr., S. 557, 1953.

Der Einfluß von Cyanid auf einige normale und neoplastische Gewebe

Die kräftige aerobe und anaerobe Glykolyse wird seit langem als eine wesentliche Eigenschaft von Krebszellen betrachtet[1]). Das Verhältnis der aeroben Glykolyse zur Atmung ist im neoplastischen Gewebe höher als in den meisten gesunden Geweben[2]). Wir haben nun die Technik der radiochemischen Untersuchung des Stoffwechsels von Gewebekulturen[3]) zur Bestimmung des Verhältnisses der aeroben Gärung zur Atmung in Normal- und Krebskulturen benützt. Bereits bei unbeeinflußtem Wachstum finden sich sehr charakteristische Unterschiede[4]). Hier soll nun über die radiochemische Untersuchung des Stoffwechsels in Anwesenheit des Atmungsgiftes Cyanid berichtet werden, gegen das Krebszellen weniger empfindlich sind als normale Zellen[5]).

Für die Versuche wurden Gewebsstücke aus dem Mesenchym 10 Tage alter Hühnerembryonen (Fibroblasten), menschliches Cervixcarcinom HeLa und menschliches Larynxcarcinom Af (H. Ep. 2) bei 36° C als Rollerkulturen gezüchtet. Die Nährlösung bestand aus Hühnerembryonalextrakt, Salzlösung nach Gey, menschlicher Ascitesflüssigkeit und Nabelschnurserum im Verhältnis 4:36:30:30 und wurde 1 bis 2mal wöchentlich erneuert[6]). Orientierende Versuche ergaben, daß die Zellen im Inneren der Gewebe sich bezüglich des Verhältnisses von Gärung und Atmung nicht anders verhalten als die auswachsenden Zellen des Randschleiers.

Mikroskopische Untersuchung 48 Std nach Zusatz von Natriumcyanid zeigte, daß die Tumoren nicht einmal bei einer Konzentration $5 \cdot 10^{-3}$ m erheblich geschädigt waren, während die Fibroblasten schon ab $5 \cdot 10^{-6}$ m Störungen aufwiesen und bei höheren Konzentrationen teilweise oder gänzlich abgetötet wurden. Ein ähnliches Ergebnis wurde erhalten, wenn die Kulturen nach 48stündiger Einwirkung des Cyanids gewaschen, mit frischer Nährlösung versehen und 14 Tage unter Normalbedingungen weitergezüchtet wurden.

Zur Untersuchung des Stoffwechsels wurde den Kulturen mit der cyanidhaltigen Nährlösung gleichmäßig markierte Radioglukose zugesetzt. Nach 48stündiger Bebrütung wurde das gebildete radioaktive Kohlendioxyd mit inaktivem CO_2-Träger ausgeblasen, in Lauge absorbiert und in Bariumkarbonat übergeführt. Das Eiweiß wurde mit Alkohol gefällt und abzentrifugiert, sodann die Basen und Aminosäuren an Kationenaustauscher Dowex 50 und schließlich die Säuren an Anionenaustauscher Dowex 3 abgeschieden. Nach Elution wurden die flüchtigen Säuren durch Destillation von den nichtflüchtigen Säuren getrennt. Da der Radiokohlenstoff der nichtflüchtigen Säuren hauptsächlich in Milchsäure enthalten war, wurde zumeist auf eine Auftrennung dieser Fraktion verzichtet. Sie wurde verbrannt und das Kohlendioxyd als Bariumkarbonat abgeschieden.

Zur Radioaktivitätsmessung wurde CO_2 aus dem Bariumkarbonat entwickelt und in ein Gas-Geiger-Zählrohr eingeführt[7]). Aus den Aktivitäten ergab sich das Verhältnis der Radiokohlenstoffmengen, die aus der Glukose einerseits in Milchsäure, andererseits in CO_2 übergegangen waren; dieser Quotient sei durch den Buchstaben q bezeichnet. Dabei wurde die relativ geringe CO_2-Entwicklung des Nährbodens allein — ohne Gewebe — als „Blindwert" in Rechnung gezogen. Die q-Werte der Tabelle 1 gelten natürlich nur unter den angewendeten Versuchsbedingungen; beispielsweise bei anderer Dauer der Bebrütung wären andere Quotienten zu erwarten.

Tabelle 1. *Aerobes Gärungs-Atmungs-Verhältnis während Einwirkung von Cyanid*

q-Wert von	Cyanidkonzentration				
	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0
Fibroblasten . . .	>100	5,1	3,4	3,1	1,6
Cervixcarcinom .	>100	31,2	28,3	25,8	22,8
Larynxcarcinom .	>100	11,9	4,6	3,2	4,3

Demnach werden die q-Werte von Fibroblasten schon durch verdünntes Cyanid wesentlich erhöht, während der von vornherein hohe q-Wert des HeLa-Gewebes über einen weiten Bereich der Cyanidkonzentration nur allmählich ansteigt. Das Larynxcarcinom nimmt in dieser Beziehung eine Mittelstellung ein. Die q-Werte der mit Cyanid behandelten Kulturen blieben auch nach 14tägiger „Erholung" in Abwesenheit von Cyanid hoch, zeigten aber gegenüber den während Cyanideinwirkung erhaltenen Werten eine rückläufige Tendenz.

Die q-Werte weiterer Gewebearten werden geprüft, und es wird untersucht, inwieweit sich die radiochemisch an Gewebekulturen mit und ohne Cyanidzusatz ermittelten q-Werte diagnostisch verwenden lassen.

Diese Untersuchung wurde durch den Jane Coffin Childs Memorial Fund for Medical Research, dem wir unseren Dank aussprechen, großzügig gefördert. Wir danken auch Herrn Professor Dr. H. Lettré für freundliche Überlassung von Tumorgewebe und Frau A. Brom für unermüdliche Mitarbeit bei den Experimenten.

Histologisch-Embryologisches Institut der Universität, Wien

G. Kellner und L. Stockinger

I. Chemisches Institut der Universität, Wien

O. Suschny, E. Broda und P. Uccusić

Eingegangen am 13. September 1956

[1]) Warburg, O.: Naturwiss. **42**, 401 (1955).
[2]) Greenstein, J.: Biochemistry of Cancer, 2. Aufl. New York 1954. Weinhouse, S.: Adv. Cancer Res. **3**, 269 (1955).
[3]) Suschny, O., E. Broda, L. Sverak, H. Bilek, O. Feldstein, L. Stockinger u. H. Madl: Mh. Chem. **83**, 1091 (1952). — Stockinger, L., H. Enzl, E. Broda, O. Suschny u. L. Sverak: Mh. Chem. **85**, 327 (1954). — Sverak, L., O. Suschny, G. Manner, E. Broda, R. Stark, L. Stockinger u. H. Enzl: Mh. Chem. **86**, 124 (1955). — Perschke, H., E. Broda, O. Hoffmann-Ostenhof, L. Stockinger, H. Enzl u. G. Kellner: Mh. Chem. **87**, 235 (1956). Stockinger, L., G. Kellner, E. Broda, H. Perschke u. O. Hoffmann-Ostenhof: J. of Exp. Cell. Res. **11**, 210 (1956).
[4]) Kellner, G., L. Stockinger, B. Figdor, O. Suschny, P. Uccusić u. E. Broda: Salzburger Chemikertreffen 1956 und unveröffentlicht.
[5]) Nemeth, L.: Arch. exp. Zellforsch. **8**, 177 (1929). — Laser, H.: Biochem. Z. **246**, 72 (1933). — Danes, B., u. I. Leinfelder: J. Cellul. a. Comp. Physiol. **37**, 427 (1951). — Kellner, G.: In Vorbereitung.
[6]) Kellner, G., u. L. Stockinger: Arch. internat. pharmacodyn. (im Druck).
[7]) Broda, E., u. G. Rohringer: Z. Elektrochem. **58**, 634 (1954).

Stimulierung der anaeroben Glykolyse durch das Virus der Hühner-Myeloblastose

In früheren Arbeiten[1]) berichteten wir über eine starke Steigerung der Glykolyse hochtouriger Überstände von Gewebshomogenisaten (Grundplasma der Zelle = glykolytisches System) durch Zugabe von Mitochondrien oder Mikrosomen in ganz bestimmten, relativ niedrigen Konzentrationen, während durch höhere Konzentrationen eine Hemmung erfolgte. Wir vermuteten, daß dieser Effekt auf der ATPase-Wirkung dieser Zellorganelle beruht und diskutierten die Möglichkeit, daß dieser Mechanismus eventuell auch der malignen Entartung zugrunde liegen könnte (Aktivierung der normalerweise latenten ATPase infolge irreversibler Strukturschädigung der Mitochondrien und Mikrosomen durch cancerogene Reize). Eine ähnliche Stimulierung der Glykolyse konnten wir auch für die hochtourigen Sedimente zellfreier Filtrate des Rous-Sarkoms und einiger zellfrei übertragbarer Mäusetumoren nachweisen[1b]). Diese geschwulstauslösenden hochtourigen Bodensätze besitzen gleichzeitig eine starke ATPase-Wirkung[2]). Die gleiche Fermenteigenschaft weist auch das gereinigte Myeloblastosevirus der Hühner auf[3]).

Wir erwogen, daß auch die cancerogene Wirkung der onkogenen Viren auf deren ATPase-Aktivität beruhen könnte,

wobei durch dieses Ferment die Glykolyse der Zellen in ähnlicher Weise wie durch die geschädigten Mitochondrien und Mikrosomen unmittelbar stimuliert wird[1]). Zur weiteren experimentellen Prüfung dieser Arbeitshypothese wurde von uns die Wirkung des Myeloblastosevirus des Huhnes*) auf das glykolytische System des Mäusesarkoms S37 untersucht. Diesem Virus, das im filtrierten Blutplasma leukämischer Hühner enthalten ist und dessen hohe ATPase-Aktivität bedingt, kommt der besondere Vorzug eines sehr hohen Reinheitsgrades zu, im Gegensatz zu den hochtourigen Sedimenten der zellfreien Filtrate des ROUS-Sarkoms und unserer zellfrei übertragbaren Mäusetumoren. Die Versuchsanordnung lehnte sich eng an unsere früheren Experimente mit Mitochondrien und Mikrosomen an[1b]). Konstante Mengen des glykolytischen Systems (hochtouriger Homogenisatüberstand) aus S37 wurden mit abfallenden Verdünnungsstufen des Myeloblastosevirus (entsprechend 0,4 bis 0,005 ml Plasma eines leukämischen Huhnes: ATPase-Aktivität $= \sim 300\,\gamma$ abgespaltener P/1 ml Plasma; 20 min; 37° C) anaerob inkubiert und anschließend die gebildete Milch- und Brenztraubensäure bestimmt. Das Ergebnis entsprach weitgehend unseren bereits mitgeteilten Befunden mit Mitochondrien und Mikrosomen sowie mit den hochtourigen Sedimenten aus dem ROUS-Sarkom und den filtrierbaren Mäusetumoren. Durch die Zugabe des Myeloblastosevirus wurde die anaerobe Bildung der Milchsäure um maximal das 4fache und die Brenztraubensäurebildung um maximal das 14fache gesteigert, wobei eine ähnliche Abhängigkeit des Effektes von der Dosis wie bei den Mitochondrien festzustellen war. Die stärkste stimulierende Wirkung hatte bei unserer Versuchsanordnung die Virusmenge, die 0,025 ml Plasma entsprach, während sowohl bei höheren als auch niedrigeren Viruskonzentrationen der Effekt beträchtlich abfiel. Durch Zentrifugation des leukämischen Plasmas bei $120000 \times g$ zeigte sich, daß der stimulierende Effekt auf die anaerobe Glykolyse ausschließlich dem Sediment und damit den korpuskulären Virusteilchen zukommt. Der hochtourige Überstand sowie auch normales Hühnerplasma waren völlig unwirksam. In diesen Befunden erblicken wir eine weitere wichtige Stütze unserer Arbeitshypothese, der zufolge die cancerisierende Eigenschaft der onkogenen Viren auf deren ATPase-Wirkung beruht, durch die die zelluläre Glykolyse und damit das autonome Wachstum unmittelbar ausgelöst wird. Damit zeichnet sich möglicherweise eine ganz bestimmte Richtung für die Therapie maligner Tumoren ab, die darauf hinzielt, die gesteigerte ATPase-Aktivität in den Zellen (Virus oder strukturgeschädigte Mitochondrien oder Mikrosomen) zu unterbinden.

Institut für Medizin und Biologie der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin-Buch, Abteilung für Biologische Krebsforschung

A. GRAFFI, E. J. SCHNEIDER und G. SYDOW

Eingegangen am 7. September 1956

*) Der Virusstamm wurde uns von Herrn Dr. J.W. BEARD in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

[1]) GRAFFI, A., u. E. J. SCHNEIDER: a) Naturwiss. **43**, 376 (1956). b) Z. ärztl. Fortbildg. **50**, 760 (1956).

[2]) GRAFFI, A., G. SYDOW, W. KRISCHKE u. L. VENKER: Zit. Z. ärztl. Fortbildg. **50**, 523 (1956).

[3]) MOMMAERTS, E.B., E.A. ECKERT, D. BEARD, D.G. SHARP u. J.W. BEARD: Proc. Soc. Exp. Biol. a. Med. **79**, 450 (1952). — ECKERT, E.A., D. G. SHARP, E.B. MOMMAERTS, R.H. REEVE, D. BEARD u. J.W. BEARD: J. Nat. Canc. Inst. **14**, 1039 (1954). — ECKERT, E.A., D.G. SHARP, D. BEARD, J. GREEN u. J.W. BEARD: J. Nat. Canc. Inst. **16**, 593 (1955).

Studien über exogene Aminosäuren im Eiweiß von Gerstencaryopsen unter dem Einfluß genetischer und ökologischer Faktoren

Sommergerste findet nicht nur Verwendung als Braugerste, sondern auch als Nähr- und Futtermittel. Als Nähr- und Futtermittel interessiert neben dem *Rohproteingehalt* (Gesamt-N × 6,25) vor allem die *Biologische Wertigkeit* ihres Proteins, die neben schwierigen und zeitraubenden Stoffwechselversuchen am Tier seit einiger Zeit auch mit hinreichender Sicherheit durch Bestimmung der sog. *exogenen oder essentiellen Aminosäuren* ermittelt werden kann[1]). Die Höhe des Rohproteins in den Caryopsen der Sommergerste wird nun nach unseren Befunden maßgebend von ökologischen Faktoren, insbesondere vom Klima, bestimmt. Ein Einfluß der Sorte, also eine genetisch bedingte Einwirkung auf den Rohproteingehalt ist ebenfalls mit Sicherheit nachzuweisen. Die sortenspezifischen Unterschiede können allerdings unter praktischen Anbauverhältnissen durch Umwelteinflüsse mehr oder weniger stark überdeckt werden.

Die Zusammensetzung des Gersteneiweißes an exogenen Aminosäuren unterliegt in Abhängigkeit von den ökologischen Faktoren wesentlichen Veränderungen. Dabei bestehen zwischen der Höhe des Rohproteins und den einzelnen Aminosäuren korrelative Beziehungen. Mit steigendem Rohproteingehalt — bedingt durch ökologische Faktoren, z.B. kontinentalklimatische Standortbedingungen — nehmen die Anteile von *Lysin, Threonin, Valin, Arginin* und *Histidin* am Gesamteiweiß der Gerstencaryopsen eindeutig ab. *Methionin* und *Cystin* neigen zu einer Abnahme, die allerdings statistisch nicht gesichert ist. *Phenylalanin* ist die einzige exogene Aminosäure, deren Anteil am Gersteneiweiß bei steigendem Rohproteingehalt zunimmt. Während die *Tryptophan*werte keine wesentliche Änderung erfahren, kann beim *Leucin* und *Isoleucin* keine einheitliche Tendenz erkannt werden.

Fassen wir diese Untersuchungsbefunde im Hinblick auf die *Biologische Wertigkeit des Eiweißes* als Wertmaßstab zusammen, so ergibt sich aus den hierfür maßgebenden Begriffen, dem EAS-Index[1]) und dem SAS-Wert[1]), daß *mit steigendem Rohproteingehalt der ernährungsphysiologische Wert des Gersteneiweißes geringer wird.* Dies bedingt vor allem das für Getreideeiweiß als limitierend anzusehende *Lysin*, dessen Anteil bei steigendem Rohproteingehalt am stärksten abfällt. Für die gegensinnige Korrelation zwischen Rohproteingehalt und Lysinanteil am Rohprotein ergab sich der hohe und statistisch gesicherte Korrelationskoeffizient von $r = 0{,}92$.

Der *Sorteneinfluß* macht sich in der Zusammensetzung des Gersteneiweißes an exogenen Aminosäuren ebenfalls bemerkbar, allerdings sind hier nur Verschiebungen gradueller Art, aber keine grundsätzlichen Veränderungen in den oben dargelegten Relationen zwischen der Höhe des Rohproteins und den Anteilen der einzelnen exogenen Aminosäuren am Rohprotein festzustellen.

Im weiteren Verlaufe der Untersuchungen über den Eiweißhaushalt von Caryopsen der Sommergerste erfolgte eine Differenzierung in „Mehlkörper" und „Außenschichten"[2]). Diese beiden Teile unterscheiden sich sowohl im Rohproteingehalt als auch in der Zusammensetzung des Rohproteins an exogenen Aminosäuren wesentlich. Der „Mehlkörper" weist gegenüber den „Außenschichten" nur die Hälfte des prozentualen Rohproteingehaltes auf. Infolge seines doppelten Gewichtanteiles sind sich die beiden Teile jedoch in der Eiweißmenge etwa gleich. Hinsichtlich der exogenen Aminosäuren ist das „Aleuroneiweiß" (= Eiweiß der „Außenschichten" der Caryopse) besser ausgestattet als das „Endospermeiweiß" (= Eiweiß des „Mehlkörpers"). Es enthält bedeutend mehr *Arginin* und *Lysin* sowie mehr *Threonin* und *Histidin* als das „Endospermeiweiß", das seinerseits lediglich einen eindeutig höheren Anteil an *Phenylalanin* besitzt. *Die Biologische Wertigkeit des „Aleuroneiweißes" ist somit höher als die des „Endospermeiweißes".*

Eine durch ökologische Faktoren bedingte Erhöhung des Rohproteingehalts der Gerstencaryopsen findet vornehmlich in den Randschichten des „Mehlkörpers" (unter der Aleuronschicht) ihren Niederschlag. Durch diese vermehrte Synthese des in ernährungsphysiologischer Hinsicht ungünstiger zusammengesetzten „Endospermeiweißes" wird eine „Verdünnung" des höherwertigen „Aleuroneiweißes" bewirkt. Diese Untersuchungsbefunde stellen somit eine Bestätigung der oben dargelegten Ergebnisse dar, die zeigten, daß mit steigendem Rohproteingehalt die Biologische Wertigkeit des Gesamteiweißes der Gerstencaryopsen abnimmt.

Bundesanstalt für Qualitätsforschung pflanzlicher Erzeugnisse, Geisenheim i. Rheingau

W. SCHUPHAN und W. POSTEL

Eingegangen am 12. September 1956

[1]) Vgl. SCHUPHAN, W.: Kulturpflanze, **1956**, Beih. 1, 118.

[2]) Diese beiden Begriffe sind Maßstäbe für die Biologische Wertigkeit des Eiweißes. Ersterer bezieht sich auf sämtliche essentiellen Aminosäuren, letzterer dagegen nur auf die für die Eiweißqualität als limitierend erkannten.

[3]) Die abgetrennten äußeren Bezirke (= „Außenschichten") der Caryopse enthalten vor allem die gesamte Aleuronschicht, die bei der Gerste aus mehreren Zellagen besteht, außerdem die Spelzen, Fruchtwand und Samenschale, Embryo und Seutellum sowie in geringem Umfang auch Teile der direkt unter der Aleuronschicht gelegenen eiweißreichen Zellagen des ausgesprochenen „Mehlkörpers".

Zur Kenntnis der Sexualstoffe bei Mucorineen

1924 konnte BURGEFF[1]) nachweisen, daß die Sexualreaktion bei Mucorineen durch spezifische Stoffe — Gamone — ausgelöst wird, die durch Membranen zu diffundieren vermögen. Dieses Ergebnis wurde neuerdings von BURNETT[2])

durch Messung des Gaswechsels während eines Befruchtungsvorgangs und von BANBURRY[3]) bestätigt. Eine Isolierung dieser Stoffe war bisher nicht möglich. Im Verlauf unserer Untersuchungen zur Sexualreaktion der Mucorineen ist es uns gelungen, eine Methode zu entwickeln, die es gestattet, beliebige Mengen dieser Sexualstoffe, je 1 (+) und 1 (−) Gamon, vom Pilzmyzel abzutrennen. Die Abtrennung erfolgte in flüssigem Nährsubstrat bei ausreichender O_2-Durchlüftung.

Testet man die keimfrei filtrierte, Gamone enthaltende Nährlösung im Lochtestverfahren an isolierten (+) bzw. (−) Myzelien von Mucor mucedo oder Phycomyces Blakesleeanus, so läßt sich maximale Sexualreaktion auslösen. Es ist gelungen, das (+) Gamon aus der Nährlösung mit Benzol bei schwachsaurem p_H zu eluieren. Das (+) Gamon ist dialysierbar, hitzelabil und wird von basischen Adsorbentien adsorbiert. Es ist nicht destillierbar und wird durch Oxydationsmittel zerstört. Brom wird unter Inaktivierung addiert.

Weitere Versuche sind im Gange. Eine ausführliche Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt demnächst an anderer Stelle.

Botanisches Institut der Universität, Würzburg
H. BURGEFF und M. PLEMPEL

Eingegangen am 15. September 1956

[1]) BURGEFF, H.: Bot. Abh. **4**, 4 (1924).
[2]) BURNETT, J. H.: New Phytologist **52**, 58 (1953).
[3]) BANBURRY, G. H.: Nature [London] **173**, 499 (1954).

Über die Wirkung von N-(4-Methyl-benzolsulfonyl)-N′-butylharnstoff*) auf die Glukose-6-Phosphatase der Leber alloxandiabetischer Ratten

Aus Lebern alloxandiabetischer Albinoratten (200 mg/kg Alloxan s.c.) wurden nach den schon früher angewandten Methoden[1]) phosphatasehaltige Extrakte hergestellt und getestet. Tabelle 1 bringt — im Vergleich zu Normaltieren —

Tabelle 1. *Mittlere Glukose-6-Phosphatase-Aktivität, ausgedrückt in γ abgespaltenem anorganischem Phosphor (Gluk.Phos.-Aktivität), Blutzuckergehalt und Diabetesdauer (Diab. D.)*

	Zahl der Best. a)	Gluk. Phos. Aktivität	Blutzucker mg-%	Diab. D. Tage
4 Normaltiere . .	72	116,0 ± 8,94	—	—
All. T. b) Nr. 3*)	24	241,2 ± 4,26	413	2
Nr. 8*)	24	291,0 ± 5,58	646	3
Nr. 9 .	24	240,0 ± 6,44	730	3
Nr. 11*)	24	172,5 ± 5,66	821	4
Nr. 13 .	24	235,8 ± 9,97	223	3
Nr. 15 .	24	184,2 ± 7,76	598	3

a) Zahl der P-Bestimmungen, b) Alloxandiabetes-Tiere.
*) Tiere vor der Schlachtung moribund; Ratte 8 hatte dabei ein Blutazeton (Methode KRAINICK) von 55,6 mg-%.

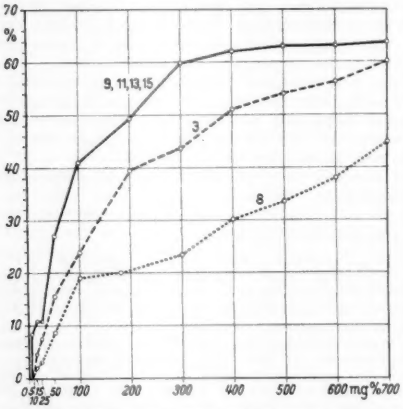


Fig. 1. Ordinate: Prozentuale Phosphatasehemmung gegenüber den jeweiligen Blindwerten; Abszisse: D 860-Konzentration in mg-%. Sonst s. Text. Die Zahlen an den Kurven geben die Nr. des Tieres an

die mittleren Phosphataseaktivitäten, ausgedrückt in abgespaltenem anorganischem Phosphor, ferner die kurz vor Schlachtung bestimmten Blutzucker (Methode HAGEDORN-JENSEN) und die jeweilige Diabetesdauer. Die Phosphataseaktivität alloxandiabetischer ist gegenüber der stoffwechselgesunder Ratten deutlich (bis über das Doppelte) erhöht, wobei sich keine Beziehung zwischen Fermentaktivität und Blutzuckerkonzentration ablesen läßt [siehe auch bei [2])]. Wie in der vorangehenden Mitteilung[1]) beschrieben, wurden die Leberextrakte ohne und mit Zusatz von N-(4-Methyl-benzolsulfonyl)-N′-butyl-harnstoff (I) inkubiert, wobei Konzentrationen zwischen 5 und 700 mg-% angewandt wurden. Fig. 1 zeigt die bei den verschiedenen I-Konzentrationen gefundenen Phosphatasehemmungen, bezogen auf die jeweiligen Blindversuche (sämtlich Doppelbestimmungen). Die an den Leberextrakten der Tiere 3 und 8 gewonnenen Werte sind einzeln dargestellt und durch Gerade verbunden. Von den sehr eng zusammenliegenden, an den übrigen Extrakten gefundenen Ergebnissen werden die Mittelwerte gebracht. Wie bei Leberextrakten stoffwechselgesunder Tiere [vgl. Fig. 1 in [1])] nimmt auch hier die Phosphatasehemmung mit steigender I-Konzentration zu. In der Regel finden wir jedoch bei Extrakten aus Lebern alloxandiabetischer Ratten eine größere prozentuale Hemmung, was auch für die niedrigen Konzentrationen gilt.

Diabetikerheim und Forschungsinstitut für Diabetes, Garz a. Rügen und Karlsburg (Direktor: Prof. Dr. G. KATSCH)
W. KNITSCH und G. MOHNIKE

Eingegangen am 31. August 1956

*) D 860 = Rastinon (Farbwerke Hoechst).

[1]) MOHNIKE, G., u. W. KNITSCH: Naturwiss. **43**, 449 (1956).
[2]) ASHMORE, J., A. B. HASTINGS, F. B. NESBETT u. A. E. RENOLD: J. of Biol. Chem. **218**, 77 (1956).

Effect of Isoniazid on Catalase and Peroxidase of Tubercle Bacilli in vitro

In a previous communication from this laboratory[1]) it was demonstrated that isoniazid inhibits tubercle bacilli which possess peroxidase and that all mycobacteria resistant to the drug, naturally or by mutation, do not show peroxidase activity. It was thought, therefore, that isoniazid inhibits peroxidase and thus exerts its antitubercular property. Studies by BÖNICKE[2]) upon the action of isoniazid on the catalase of tubercle bacilli suggested that this drug probably interferes with this enzyme, whereas KNOX, MEADOW and WORSSAM[3]) recently showed no inhibitory effect of isoniazid on catalase obtained from different sources including tubercle bacilli. This communication represents the results of investigations on the action of isoniazid on catalase and peroxidase of tubercle bacilli sensitive to the drug.

Catalase was determined by the WARBURG technique using 0·2 ml. of 1:100 hydrogen peroxide (30%) as substrate, 1·0 ml. of 0·2 molar SØRENSEN phosphate buffer of p_H 6·8, and 2·0 ml. of bacterial suspension. The bacteria were harvested from a ten-day DUBOS' Tween(R)-albumin medium, washed thrice by centrifugation and resuspended in physiological saline with 0·025% Tween 80(R), and adjusted to 85% transmission at 650 mμ. Peroxidase activity was determined, as described earlier[1]), using catechol as acceptor. Washed bacterial mass from surface cultures of YOUMANS' medium, with and without serum, was suspended in 1·0 ml. of 0·2 molar acetate buffer of p_H 4·0, 0·2 ml. of 2% catechol and 0·1 ml. of 1:100 hydrogen peroxide (30%) were added and incubated at room temperature. Darkening of the bacteria at the end of a few hours represented positive peroxidase activity. The different concentrations of isoniazid were incorporated in the buffer.

The experiments were carried out with various strains of tubercle bacilli sensitive to isoniazid *(H 37 Rv, H 37 Rv streptomycin-resistant, Ravenel, B. C. G., H 37 Ra)* and the results were similar. The readings from a representative experiment are presented in table 1.

Table 1. *Effect of isoniazid on catalase and peroxidase of M. tuberculosis, Ravenel*

Isoniazid γ/ml.	Catalase Activity, O_2 in microliters			Peroxidase Activity
	10 min.	30 min.	60 min.	
0	24·0	59·2	75·2	+++
0·1	30·6	59·4	72·0	+++
1	30·6	52·2	70·2	+++
10	24·0	48·0	60·8	+++
100	28·9	56·2	64·6	+++
1000	14.4	16·2	19·8	++

From the data, it may be observed that isoniazid does not inhibit either catalase or peroxidase at concentrations at which it exerts antitubercular activity. Thus, it appears that loss in peroxidase or catalase by isoniazid-resistant bacilli is not a consequence of any inhibitory actions of isoniazid on these systems.

Medical Section of the Schweizerisches Forschungsinstitut für Tuberkulose, Davos, Switzerland

M. O. TIRUNARAYANAN and W. A. VISCHER

Eingegangen am 18. September 1956

[1]) TIRUNARAYANAN, M. O., and W. A. VISCHER: Amer. Rev. Tubercul. (under publication).
[2]) BÖNICKE, R.: Naturwiss. **41**, 430 (1954).
[3]) KNOX, R., P. M. MEADOW and A. R. H. WORSSAM: Amer. Rev. Tubercul. **73**, 726 (1956).

Resistenz eines neuen Rattenimpftumors gegen Krebs-Chemotherapeutika

Das Arbeiten mit Impftumorstämmen, die gegen Krebs-Chemotherapeutika resistent sind, gewinnt in der experimentellen Krebsforschung eine immer zunehmende Bedeutung. Grundsätzlich lassen sich heute zwei verschiedene Typen von resistenten Tumorstämmen unterscheiden, nämlich einmal solche, die durch fortlaufende Behandlung mit einem bestimmten Chemotherapeutikum gegen dieses resistent gemacht wurden, und zum anderen Stämme, die von vorneherein meist gegen eine Vielzahl von Chemotherapeutika unempfindlich sind. Über die Ursachen der Resistenz ist wenig bekannt. Im folgenden sollen eigene Versuche beschrieben werden, die eine Deutungsmöglichkeit dieser Resistenz zulassen:

Im Verlauf eines Fütterungsversuches mit 4-Dimethylamino-stilben[1]) trat im September 1955 bei einer WISTAR-Ratte ein Plattenepithelcarcinom des Gehörgangs auf. Der Transplantationsversuch (D. SCHMÄHL) auf gleichrassige Tiere verlief erfolgreich. Wir haben diesen Tumor („DS-Tumor") bis heute über 35 Passagen weitergezüchtet. Die Angangsrate bei *intraperitonealer* Verimpfung liegt bei 90%, die Absterbezeit beträgt 12 bis 14 Tage. Rückbildungen wurden dabei bisher nicht beobachtet. Der Tumor wächst teils solide, vor allem im Netz in kleinsten Knötchen, teils in Ascitesform. Der Ascites enthält etwa 20000 Tumorzellen pro mm^3 und ist als solcher ebenfalls transplantabel. Bei *subcutaner* Verimpfung beträgt die Angangsrate nur etwa 75%. Gelegentlich kommen hier Spontanrückbildungen vor. In der Subcutis wächst die Geschwulst nur langsam und führt erst nach 4 bis 6 Wochen zum Tode. Sehr häufig werden bei der Sektion Metastasen in den regionären Lymphknoten beobachtet. Histologisch handelt es sich bei dem Tumor um ein Carcino-Sarkom (E. GRUNDMANN).

Im Rahmen von Krebs-Chemotherapieversuchen hat sich unser Arbeitskreis in den letzten Jahren mit der Wirkung des Bis-β-chloräthyl-methyl-amins (HN 2), Bis-β-chloräthyl-methyl-amin-N-oxyds (HN 20), Triäthylenimino-melamins (TEM), 2,5-Diäthylenimino-benzochinons (DB) und des Triäthylenimino-thiophosphats (TSPA) auf das YOSHIDA-Sarkom, JENSEN-Sarkom und WALKER-Carcinom 256 beschäftigt[2]). Mit allen Substanzen waren beim YOSHIDA- und JENSEN-Sarkom vollständige Heilungen zu erzielen, wenn auch teilweise erst in so hoher Dosierung, daß die therapeutische Breite nur gering war[2]). Das WALKER-Carcinom sprach dagegen nur auf HN 20 und DB an. Es erschien nun interessant, die Wirkung der oben genannten Verbindungen auf das Wachstum des DS-Tumors zu testen.

Wir begannen die Behandlung (i. v.) jeweils simultan am Tage der intraperitonealen Impfung und setzten sie entweder 3 oder 9 weitere Tage fort. Die verwendeten Dosen waren extrem hoch und lagen dicht an der Toleranzgrenze. Sie betrugen in mg/kg Ratte bei HN 2: $4 \times 0{,}5$ und $10 \times 0{,}2$; HN 20: 4×20 und 10×16; DB: $4 \times 0{,}4$; TEM: $4 \times 0{,}5$; TSPA: $4 \times 2{,}5$. In keinem Falle konnten wir eine Heilung der Tiere beobachten. Die Absterbezeiten waren bei den behandelten Tieren nicht verlängert. Danach handelt es sich bei dem DS-Tumor um eine Geschwulst, die gegen die am häufigsten verwendeten Krebs-Chemotherapeutika resistent ist

In weiteren Versuchen haben wir uns mit der Ursache dieser Resistenz beschäftigt. In früheren Untersuchungen in vitro hatten wir[3]) die mittlere wirksame Konzentration, die zur Abtötung der Tumorzellen bei den drei obengenannten Impfstämmen bei einstündiger Inkubation bei 37° C benötigt wird, für HN 2 mit 0,1 γ/ml und für HN 20 je nach Tumorart zwischen 0,15 und 6 γ/ml liegend bestimmt. Die Prüfung des DS-Tumors in diesem Test ergab nun für HN 2 eine C_{50} von etwa 5 γ/ml und für HN 20 eine von 25 γ/ml. Die benötigten zytotoxischen Konzentrationen lagen also bei dieser Tumorart um ein Vielfaches höher als beim YOSHIDA- oder JENSEN-Sarkom und WALKER-Carcinom.

Die Unmöglichkeit, den DS-Tumor durch HN 2 oder HN 20 zu heilen, hat nach diesen Befunden vorwiegend quantitative Gründe. Die Dosis HN 2 oder HN 20, die in vitro zur Abtötung der DS-Tumorzellen ermittelt wurde, läge nämlich bei Übertragung auf die Verhältnisse in vivo schon weit im letalen Bereich. Die quantitative Betrachtungsweise für das Resistenzproblem bei Geschwülsten gegenüber Chemotherapeutika erscheint danach von besonderer Bedeutung.

Die Arbeit wurde durch die „Deutsche Forschungsgemeinschaft" ermöglicht.

Laboratorium der Chirurgischen Universitätsklinik, Freiburg i. Br. DIETRICH SCHMÄHL und THOMAS RIESEBERG

Eingegangen am 18. September 1956

[1]) SCHMÄHL, D., u. R. MECKE: Z. Krebsforsch. **61**, 230 (1956).
[2]) DRUCKREY, H., D. SCHMÄHL, P. DANNEBERG, K. KAISER, H. W. LO, R. MECKE u. H. A. NIEPER: Arzneimittel-Forsch. (im Druck).
[3]) SCHMÄHL, D., u. H. DRUCKREY: Naturwiss. **43**, 199 (1956).

Epileptiforme Krampfanfälle bei Ratten nach chronischer Vergiftung mit 4,4′-Dinitro-stilben

4-Nitro-stilben führt bei der Ratte nach oraler Gabe vorwiegend zu Plattenepithel-Carcinomen des Vormagens[1]). Die Geschwülste treten dabei nach einer Gesamtdosis von etwa 600 mg/Ratte auf. Es interessierte uns nun die Frage, ob das „bifunktionelle" 4,4-Dinitro-stilben ebenfalls carcinogene Eigenschaften besitzt. Die von Dr. H. ARNOLD, Brackwede, synthetisierte Substanz wurde durch den Schmelzpunkt von 290 bis 292° und die Maxima (Lösungsmittel Cyclohexan) von 331, 332 und 348 mμ charakterisiert.

24 Wistar-Ratten beiderlei Geschlechts im Alter von etwa 100 Tagen erhielten täglich 4 bis 6 mg der Substanz in Brot eingebacken. Die höchste erreichte Gesamtdosis betrug 1,2 g pro Tier. Die Ratten nahmen während der Behandlung nur wenig zu, neigten zu Infektionen und hatten ein struppiges Fell. Die mittlere Lebenserwartung betrug nur 8,5 Monate gegenüber 26 Monaten bei den Kontrolltieren. Auch die maximale Lebenserwartung war mit 14 Monaten auf etwa $^1/_3$ im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert. Es liegt also eine auffallend chronisch verlaufende Giftwirkung vor. Eine carcinogene Wirkung konnte jedoch *nicht* beobachtet werden. Sie kann indessen wegen der nur kurzen Beobachtungszeit der Tiere nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Im Verlaufe des Versuches traten bei den Ratten als Folge der chronischen Vergiftung mit 4,4′-Dinitrostilben eigentümliche Krämpfe auf, die der menschlichen *Epilepsie* weitgehend ähnelten. Sie sollen deswegen näher beschrieben werden. Nach Aufnahme einer Gesamtdosis von 0,26 g, also nach einer Behandlungszeit von fast 2 Monaten, stellten sich zunächst bei nur einigen Tieren Krampfanfälle ein, die später bei allen Ratten beobachtet werden konnten. Ein typischer Krampfanfall verlief wie folgt: Das Tier sprang plötzlich einige Male in die Höhe, fiel dann in sich zusammen und hatte danach einen einige Sekunden anhaltenden tonischen Krampf, der den ganzen Körper erfaßte. Die Extremitäten waren dabei gestreckt, die Vorderpfötchen häufig in „Gebetshaltung" überkreuzt. Dieser tonische Krampf wechselte bald mit einem Klonus ab, der ebenfalls den ganzen Körper erfaßte. Dabei kam es zu Schaumbildung vor Mund und Nase, gelegentlich auch zu Zungenbissen. Schließlich fielen die Tiere in einen kurzdauernden „Dämmerschlaf", aus dem sie nicht erweckbar waren. Nach dem Erwachen taumelten sie einige Zeit hin und her, um danach wieder ein normales Verhalten zu zeigen. Häufig beobachteten wir aber auch, daß sich mehrere solcher Krampfanfälle hintereinander wiederholten; bei einigen Tieren trat in diesem Krampfzustand der Tod ein. Die Häufigkeit der Anfälle war bei den Tieren sehr verschieden. Bei einigen Ratten traten sie zeitweilig täglich auf, bei anderen dagegen viel seltener. Die Sektionen und einige orientierende mikroskopische Untersuchungen des Gehirns[2]) ergaben keine besonderen Befunde.

Bei einigen häufig krampfenden Ratten sahen wir schwere Nekrosen und gangränöse Veränderungen an den Extremitäten, die gelegentlich sogar zum Abfall des Gliedes führten.

Um die Frage zu prüfen, ob die krampfauslösende Wirkung des 4,4′-Dinitro-stilbens irreversibel ist, brachen wir die

Giftzufütterung nach einer Gesamtdosis von 0,6 g/Ratte ab. In den ersten beiden Wochen nach dem Behandlungsende konnte noch kein Nachlassen der Krämpfe beobachtet werden. Dann aber wurden die Anfälle immer seltener, um später ganz zu verschwinden. Nach Wiederbeginn der Fütterung mit 4,4-Dinitro-stilben traten die Krämpfe bald wieder auf. Die beobachtete Wirkung ist also reversibel.

Im *akuten* Toxizitätsversuch erwies sich 4,4-Dinitrostilben an Ratten als praktisch ungiftig. Nach intraperitonealer Gabe von 4 g/kg (20%ige Ölverreibung) zeigten die Tiere keinerlei Reaktionen. Die Krämpfe erzeugende Wirkung des 4,4'-Dinitro-stilbens tritt also erst nach extrem chronischer Vergiftung der Tiere auf.

Die Untersuchungen wurden durch die „Deutsche Forschungsgemeinschaft", Bad Godesberg, ermöglicht.

Freiburg i. Br., Chirurgische Universitätsklinik, Laboratorium

DIETRICH SCHMÄHL

Eingegangen am 12. September 1956

[1]) DRUCKREY, H., D. SCHMÄHL u. R. MECKE: Naturwiss. **42**, 128 (1955).

[2]) Für die histologische Untersuchung sind wir Herrn Professor Dr. H. HAMPERL, Bonn, zu Dank verpflichtet.

Anaerobe Behandlung der Larven von *Chironomus plumosus* mit Stilben-TC

Das Ditetrazoliumsalz Stilben-TC ist ein leider noch nicht im Handel befindlicher Reduktionsindikator des Jenaer Instituts für Mikrobiologie und experimentelle Therapie; ich bin seinem Direktor, Herrn Professor KNÖLL, für freundliche Überlassung von Proben des Präparates sowie ausführliche Aufklärung über seine Wirksamkeit zu großem Dank verpflichtet. Ich hatte schon früher [1a]) Versuche mit dem Präparat, noch ohne nähere Kenntnis seiner Wirksamkeit, angestellt, die zur Prüfung der mit TTC erzielten Ergebnisse dienen sollten. Solche Bilder wurden auch jetzt wie damals gelegentlich erhalten, wie in der erwähnten Mitteilung photographisch dargestellt. Diese Bilder sind jedoch nicht typisch für die Wirkung des Stilben-TC. Das Entstehen einer roten Formazanverbindung zeigt bei diesem Präparat nur eine unvollständige, halbseitige Reduktion der Molekel an, während vollständige Reduktion durch das Auftreten einer Blaufärbung angezeigt wird. Mittels einer neuen, durch die Freundlichkeit von Herrn Professor KNÖLL erhaltenen Probe konnte ich nun zahlreiche Versuche an der Larve von *Chir. plumosus* unter anaeroben Bedingungen durchführen. Es wurde durchweg mit der leicht gelblichen Lösung von 0,05% bei Lichtabschluß gearbeitet. Diese Lösung ist nur sehr wenig giftig; auch nach 3 Tagen anaerober Behandlung sind die Larven zumeist noch vollbeweglich. Nach Behandlung von 24 Std (oder mehr, bis zu 3 Tagen) zeigen die Einschlußkörper des Fettkörpers deutlich eine rötlich-bläuliche Anfärbung, die zuweilen einen Stich ins gelbliche hat. Die Anfärbung tritt namentlich an größeren Kügelchen, zuweilen auch nur als Randanfärbung hervor. Das in Fig. 1 wiedergegebene Schwarz-Weiß-Photo vermag den Eindruck dieser Färbung nur unvollkommen wiederzugeben. Ein Vergleich mit den von mir in letzter Zeit wiederholt gegebenen Photos des Fettkörpers unbehandelter Larven [1b]) führt weiter. Da in diesen Anfärbungen stets noch ein rötlicher Ton erkennbar ist, glaube ich, daß die Reduktionsprozesse an den Einschlüssen des Fettkörpers bei der Larve von *Chir. plumosus* im allgemeinen nur einer teilweisen, die halbe Molekel von Stilben-TC betreffenden Reduktion entsprechen. Auf jeden Fall zeigen aber die Versuche mit diesem andersartigen Reduktionsindikator, daß, wie schon die Versuche mit TTC zeigten, an den Einschlüssen des Fettkörpers wesentliche Reduktionsprozesse bei Anaerobiose ablaufen.

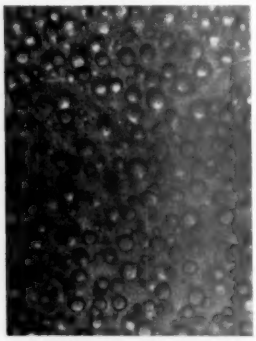


Fig. 1. *Chironomus plumosus*-Larve. Fettkörper nach Behandlung mit Stilben-TC. Obj. 5. Okular 10mal. (Dr. GROSSPIETSCH phot.)

Wir sehen am Körper der anaerob mit Stilben-TC kürzere oder längere Zeit behandelten Larven auch vielfach rote, sicher nur einer halben Reduktion entsprechende Anfärbungen, namentlich an Hautstellen, insbesondere Intersegmentalhäuten, kaum im Bereich des Fettkörpers. Nach längerer anaerober Behandlung mit Stilben-TC (2 bis 3 Tage) sieht man an toten oder doch absterbenden Larven von *Chir. plumosus* oft eine völlige Reduktion des Stilben-TC anzeigende Blaufärbung. Untersuchung von Zupfpräparaten solcher Tiere zeigt zumeist nicht mehr eindeutig ansprechbare blaugefärbte Gewebstrümmer, unter denen sich auch noch erkennbare Teile des Fettkörpers mit ganz oder wenigstens am Rand blaugefärbten Einschlußkügelchen befinden, also auch ein Anzeichen von Reduktionsprozessen am Fettkörper.

Fig. 2. *Chironomus plumosus*-Larve. Analpapillen nach 3 Tagen Stilben-TC. Obj. 3. Okular 10mal. (Dr. GROSSPIETSCH phot.)

Eigenartig ist, daß bei anaerob mit Stilben-TC behandelten Larven stets die Analpapillen blaugefärbt erscheinen (Fig. 2). Die Anfärbung betrifft jedoch oft nur einzelne Papillen, ist nur selten so stark und auch auf Partikeln und Zellen im Innern der Papillen übergreifend wie in Fig. 2. Nähere Prüfung ergibt, daß die Blaufärbung von Schizomyzeten ausgeht, die im Medium des Sees reichlich zugegen sind und bei Anaerobiose lebhafte und vollständige Reduktion zeigen. Je nach ihrem Zustand sind sie bald (meist) als kleinere, weniger auffallende Knubbel, bald wie in der Figur als längere Fäden zu sehen. Ob die nur gelegentlich zu beobachtenden Anfärbungen im Innern der Papillen sekundäre Anfärbungen oder Anzeichen eines Reduktionsprozesses sind, wage ich noch nicht zu entscheiden; ich will nur darauf hinweisen, daß nach atmungsphysiologischen Untersuchungen nicht anzunehmen ist, daß in den Analpapillen wesentliche Atmungs- und damit Reduktionsprozesse stattfinden. Daß ich in zahlreichen Versuchen mit TTC (1%) nie ähnliche Bilder gesehen habe, ist sicher auf die wesentlich stärkere Giftwirkung der angewandten TTC-Lösung zurückzuführen, die Schizomyzeten nicht zum Anheften kommen läßt.

Hydrobiologische Anstalt der Max-Planck-Gesellschaft, Plön

O. HARNISCH

Eingegangen am 6. September 1956

[1]) HARNISCH, O.: a) Z. Naturforsch. **1956**. — b) Biol. Zbl. **75**, 464 (1956).

Freilanduntersuchungen zur Aktivität, Ernährung und Leistung von *Geotrupes silvaticus* Panz.

Untersuchungsgebiet war ein mit Laubbäumen durchsetzter 1 km² großer Fichtenbestand am Nordabhang des Enztales bei Pforzheim. Die Käferpopulation ist in einzelne Horste aufgegliedert, in welchen die Besiedlungsdichte bis 3 Käfer/m³ betrug. Für den Käfer freßbare Faeces fehlen. (Hasen- und Rehkot wird *nie*, auch nicht im Hungerzustand, gefressen.)

1. *Die tagesperiodische Aktivität.* Durch stündliches Auszählen der in verschiedenen 2500 m² großen Arealen umherwandernden Käfer wurde ein Vor- und ein Nachmittagsmaximum gefunden. Das Vormittagsmaximum liegt im Frühjahr und Herbst zwischen 10.00 und 11.00 Uhr und im Sommer zwischen 9.00 und 10.00 Uhr. Das Nachmittagsmaximum liegt fast konstant zwischen 16.00 und 18.00 Uhr. Die Hauptaktivitätstemperatur betrug 19 bis 24°, die Minimalaktivitätstemperatur 12°. Temperatur und relative Feuchte beeinflussen die zeitliche Lage der Maxima so, daß bei hohen Temperaturen und/oder geringer Luftfeuchte während der Hauptaktivitätszeit diese tageszeitlich etwas vor- (am Vormittag) oder rückverlegt (am Nachmittag) sind. Dadurch sichern sich die Käfer wahrscheinlich eine optimale Transpiration[1]).

2. *Die Ernährung.* Beim koprophagen *Geotrupes* wurde gelegentlich eine gewisse Allophagie beobachtet[2]). Die vorliegende Untersuchung zeigt eine auffallende positive Korrelation zwischen Pilzdichte und Käferdichte. Pilze bilden, sobald sie verfügbar sind (ab Mitte Juli), im Untersuchungsgebiet die Hauptnahrung der Käfer. Die übrige Jahreszeit wird durch Aufnahme von jahreszeitlich bedingtem Anfall einigermaßen

freßbarer Substanzen überbrückt. Im Frühjahr (März bis Anfang Mai) werden verrottete Pilze, Raubvogelgewölle, anfallende Insektenleichen und Saft blutender Bäume gefressen. Anfang Mai bis Mitte Juni sind sterbende Maikäfer Hauptnahrungsquelle. Mitte Juni (Beginn der Brutzeit) bis Mitte Juli bilden Insektenleichen, Schleim von Nacktschnecken, der am lebenden Tier gefressen wird, und verfaulte Pflanzenteile die Käfernahrung. Kannibalismus ist während dieser Zeit sehr ausgeprägt. Ab Mitte Juli bilden Pilze (besonders *Clytocybe* und *Lactariusarten*) die Hauptnahrung. Menschliche Faeces werden aber allen Nahrungsstoffen vorgezogen.

3. *Kraft und Leistungsaufwand.* Zum Bau ihrer Ruhe- und Brutgänge haben die Käfer erhebliche Kräfte und Leistungen aufzubringen. Kraft und Leistung wurden mit Hilfe eines Schubgerätes — bestehend aus einem Teesieb, das an der Vorderseite ein Loch trägt, durch das der Käfer gerade seinen Kopf herausstrecken kann — gemessen. Bei positiver Lichtstimmung streben die Käfer, die in diesem Gerät sitzen, dem Loch zu und schieben das Gerät mit konstanter Geschwindigkeit fort. Durch sukzessive Belastung des Geräts mit Gewichten, Messung des Reibungswiderstandes (= effektiv vom Käfer zu überwindende Kraftgröße) mit einem Dynamometer und Berechnung der zu jeder Belastung gehörenden Laufgeschwindigkeit aus Laufstrecke/Zeit wurde die Leistung errechnet. Der maximale Kraftaufwand verschieden großer Käfer (0,410 bis 0,220 g) lag zwischen 124 und 100 pond. Die Leistung ist bei mittleren Belastungen zwischen 40 und 55 pond (obere Belastungsgrenze 125 pond) am größten. Die maximale Leistung für Käfer von 0,410 und 0,220 g betrug 26,6 pond · cm · sec^{-1} und 13,14 pond · cm · sec^{-1}. Diese Werte sind annähernd gleich den Maximalleistungen, wie sie für den Flug von Cetonia aurata gefunden wurden[3]).

Kepler-Gymnasium, Pforzheim

ALBERT DANZER

Eingegangen am 15. September 1956

[1]) LENGERKEN, A. v.: In: Ergebnisse der Insektenbiologie, Bd. I, S. 113ff. 1939.
[2]) SCHMIDT, G.: Biol. Zbl. 75, 178 (1956).
[3]) CHADWICK, L. E.: Insect Physiology, ed. K.D. Roeder. New York 1953.

Nachweis der durch Fluor-Ionen gesteigerten Hydroxylapatit-Deckschichtenbildung auf Zahnoberflächen mit radioaktivem Phosphat

Ausgehend von der Beobachtung, daß eine artifiziell angeätzte heterogene, aus Hydroxylapatit und (wenig) Keratin bestehende Zahnschmelzoberfläche in einem kariesresistenten Gebiß schnell wieder durch eine homogene Deckschicht aus Hydroxylapatit abgedeckt wird, betrachtet die moderne physikalisch-chemische Theorie (Resistenztheorie der Karies)[1]) das Wechselspiel zwischen korrodierenden Einflüssen und der reparatorischen Leistung des Speichels und sieht die Karies als Korrosionsvorgang an[2]). Dabei ist es gleichgültig, welcher speziellen Art dieser (immer durch Mikroorganismen hervorgerufene) Auflösungsprozeß ist. Nach der Resistenztheorie tritt progressive Karies an irgendeiner Stelle des Zahnes dann ein, wenn hier die Korrosionsgeschwindigkeit V_k größer ist als die Deckschichtenbildungsgeschwindigkeit V_d. Das Vorzeichen der Differenz $V_d - V_k$ ist ceteris paribus eine Funktion der Viskosität η des Ruhespeichels, fällt steil mit ihr ab, um dann auch negative Werte zu erreichen. η bestimmt die Thermodynamik und die Kinetik der Deckschichtenbildung in folgender Weise:

1. Mit abnehmendem η steigt erfahrungsgemäß der p_H-Wert des Speichels. Damit wird die Lage des Löslichkeitsungleichgewichtes zwischen Hydroxylapatit der Zahnhartsubstanz und dem Speichel in Richtung steigender Übersättigung verschoben. Die $Ca^{\cdot\cdot}$- und PO_4'''-Ionenkonzentration des Speichels liegt durchweg hoch über der durch die Löslichkeit des Hydroxylapatits in neutralem H_2O gegebenen[1]),[3]).

2. Die Deckschichtenbildungsgeschwindigkeit V_d berechnet sich bei gegebener Übersättigung des Speichels aus der Dicke der an der Zahnoberfläche adhärierenden Speichelgrenzschicht nach den Diffusionsgesetzen zu[1])

$$V_d = \text{const} \cdot \eta^{-\frac{3}{2}}. \qquad (1)$$

Insgesamt fällt also V_d wegen der η-p_H-Beziehung noch stärker als durch (1) gegeben ab. Wir fanden inzwischen: Bei der peroralen Verabreichung physiologischer Fluoridgaben spielt der lokale Ionenaustauschprozeß

$$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + F' \rightleftharpoons Ca_{10}(PO_4)_6(OH, F) + OH', \qquad (2)$$

der zur Bildung schwerlöslicher Fluorhydroxylapatite führt, nur eine untergeordnete Rolle[4]). Ferner: Die $Ca^{\cdot\cdot}$- und PO_4'''-Konzentration des Speichels wird durch solche Fluoridgaben nur relativ wenig verändert[5]). Deshalb vermuteten wir nach positiven orientierenden Vorversuchen (1950) einen starken Einfluß physiologischer Fluoridgaben auf die Speichelviskosität η und damit auf V_d.

Zur Klärung dieses Problems erhielt die Hälfte von 42 6 Wochen alten Goldhamstern 2 Monate lang täglich je 0,04 mg F-Ionen peroral verabreicht. Am 56. Tage wurde allen Tieren je 0,054 mC P_{32} als Phosphat unter die Rückenhaut injiziert. 4 Tage danach ergaben die auf die $2,5 \times 1$ mm² große Öffnung eines 3 mm starken Bleibleches gelegten Zähne in 20 mm Abstand von einem Zählrohr folgende Impulszahlen pro 5 min nach Abzug des Nulleffektes. Die Zahlen in Tabelle 1 sind Mittelwerte von allen Seitenflächen der Nagezähne.

Tabelle 1. *Mittlere Impulszahl pro Tier bei einer Meßdauer von 5 min*

	Unterkiefer		Oberkiefer	
	mit Fluor	ohne Fluor	mit Fluor	ohne Fluor
Weibchen	1644	902	844	552
Männchen	1724	622	807	490

Diese Werte sind noch durch einen konstanten Impulsanteil belastet, der von Strahlung herrührt, die aus der Pulpa bzw. den pulpanahen Dentinzonen stammt (β- und Röntgenstrahlung). In Wirklichkeit ist die Deckschichtenbildungsgeschwindigkeit V_d bei den F-Tieren nicht nur etwa doppelt so groß wie bei den anderen, sondern wesentlich höher. Das zeigt Tabelle 2, die die Verteilung des radioaktiven Phosphats in je einem Unterkieferzahn wiedergibt.

Tabelle 2. *Impulszahlen nach 5 min nach Abzug des Nulleffektes (Unterkieferzahn)*

	Mit Fluor gefüttert		Ohne Fluor gefüttert	
	Zahn	Rückstand	Zahn	Rückstand
Ausgangsimpulszahl .	2300	—	1192	—
1. Minute	2224	612	1312	64
2. Minute	2212	452	1380	52
3. Minute	1140	452	1352	36
4. Minute	—	216	1360	28
5. Minute	1220	128	1920	28
6. Minute	2780	48	2008	40

Die Zähne wurden fortlaufend je 1 min unter konstanten Bedingungen in n/10 HCl abgeätzt, wobei die Impulszahlen von Zahn und eingedampftem Löserückstand gemessen wurden. Nach der vierten Ätzstufe wird die Nähe der stärker Phosphat führenden Pulpa bemerkbar. Die ersten Ätzfraktionen zeigen ein Aktivitätsverhältnis von annähernd 10:1 und beweisen damit die etwa gleich starke Vergrößerung von V_d durch diese peroralen Fluoridgaben im Sinne der physikalisch-chemischen Resistenztheorie der Karies.

Tübingen, Physikalisch-Chemisches Institut der Universität

ADOLF KNAPPWOST

Eingegangen am 6. September 1956

[1]) KNAPPWOST, A.: Z. Elektrochem. 55, 586 (1951). — Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 670 (1952).
[2]) KEIL, A.: Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 947 (1949). — RHEINWALD, U., u. G. STAEHLE: Stoma [Konstanz] 2, 259 (1949).
[3]) MATHIS, H.: Caries dentium. Wien 1947.
[4]) KNAPPWOST, A., u. A. EFFINGER: Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 669 (1956).
[5]) KNAPPWOST, A., u. H. G. TOCHTERMANN: Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1231 (1955).

Fortlaufende Bestimmung der Hautdurchblutung am Menschen mit einem neuen Wärmeleitmesser

Die Wärmeleitfähigkeit [oder genauer „Scheinleitfähigkeit"[2])] des lebenden Gewebes ist ein sehr geeignetes Maß für die Gewebsdurchblutung. Hierbei wird vorwiegend der konvektive Wärmetransport, also das Zeitvolumen des strömenden Blutes gemessen, während die verschiedene Blutfülle des Gewebes fast keinen Einfluß hat[4]). Das Meßgerät zur Registrierung der örtlichen Wärmeleitzahl der menschlichen Haut beruht auf einem Prinzip, wie es in anderer Form schon verschiedentlich in der Physiologie angewandt wurde[1]),[3]). Es

wird die Übertemperatur ϑ eines kleinen elektrischen Heizkörpers gemessen, der sich in Kontakt mit dem Gewebe befindet. Die Wärmeleitzahl λ folgt aus der Gleichung $\lambda = k\, I^2/\vartheta$, wobei I die Heizstromstärke und k eine Eichkonstante ist.

Der Wärmeleitmesser*) besteht aus einer runden Plexiglasplatte von 0,7 mm Dicke und 15 mm Durchmesser, in die zwei parallele Konstandrähte von 0,2 mm Stärke in 6 mm Abstand eingelassen sind (Fig. 1). Eine Thermosäule aus vier Kupfer-Konstantan-Elementen von 0,1 mm Stärke erlaubt die fortlaufende Registrierung der Temperaturdifferenz der beiden Drähte. Das System ist durch eine Lackschicht oder eine dünne Kunststoffolie isoliert. Die Meßplatte wird auf die Haut aufgesetzt und durch einen Heftpflasterstreifen fixiert. Einer der Konstantandrähte wird aus einem Netzanschlußgerät mit stabilisiertem Wechselstrom auf eine Übertemperatur von etwa 2° aufgeheizt. Ein Mantel aus Plexi-

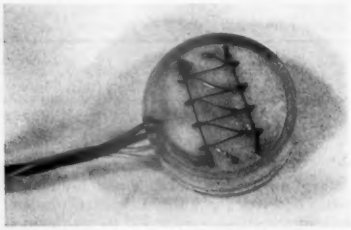


Fig. 1. Meßplatte. Man sieht die beiden geraden Konstantandrähte, zwischen denen die Thermosäule zickzackförmig verläuft. Links die Anschlußkabel der Heizleitung und der Meßleitung. 1,7fach vergrößert

glas, der durch einen Luftspalt von der Meßplatte getrennt ist, schützt die Rückseite der Meßplatte gegen äußere thermische Störungen. [Schaltung des Gerätes siehe [5])].

Die Eichkonstante k wird durch Auflegen der Meßplatte auf Substanzen von bekannter Wärmeleitzahl, z. B. Glycerin (0,00068 cal · cm^{-1} · sec^{-1} · °C^{-1}) oder Wasser (0,0014), ermittelt. Hierdurch wird auch der Fehler durch Wärmeleitung in der Thermosäule und in der Plexiglasplatte eliminiert. Die

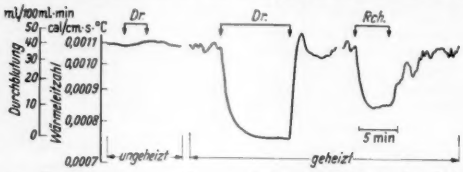


Fig. 2. Registrierung am Daumen bei ungeheizter und geheizter Meßplatte. Arterielle Drosselungen am Oberarm und Rauchen einer Zigarette. Eichung in Wärmeleitzahlen und in absoluten Durchblutungswerten (ml Blut pro 100 ml Gewebe und min). *Dr.* = Drosselung, *Rch.* = Rauchen

Beziehung zwischen Wärmeleitzahl und Durchblutungsgröße des Gewebes ist innerhalb des physiologischen Bereiches praktisch linear[1]), [5]).

Fig. 2 zeigt ein Registrierbeispiel. Infolge der Differenzmessung ist das Verfahren unabhängig von der Hauttemperatur, wie der Anfang der Kurve bei ungeheizter Meßplatte zeigt. Bei Unterbrechung der Blutzufuhr stellt sich ein neuer, konstanter Wert ein, der der Wärmeleitzahl der nicht durchbluteten Haut entspricht. Er beträgt im Mittel 0,00072 cal · cm^{-1} · sec^{-1} · °C^{-1}, wobei die mittlere Streuung der Einzelwerte bei zahlreichen Messungen an verschiedenen Körperstellen und bei verschiedenen Versuchspersonen nur $\pm$ 0,00004 beträgt. Der Einfluß der wechselnden Blutfülle der Haut ist nur sehr klein und erreicht nur 1 bis 2% der Wärmeleitzahl, kann also gegenüber den konvektiven Änderungen, die bis zu 100% und mehr erreichen, vernachlässigt werden. Die Gewebstiefe, die mittels der Methode erfaßt wird, dürfte etwa 3 mm betragen, wenn man Messungen von BURTON[1]) zugrunde legt.

Vergleichsmessungen der absoluten Durchblutungswerte am Finger mittels Verschlußplethysmographie, die noch nicht abgeschlossen sind, machen es sehr wahrscheinlich, daß das Verfahren auch für Absolutmessungen der Hautdurchblutung geeignet sein dürfte.

Gegenüber anderen thermischen Methoden zur Erfassung der Hautdurchblutung, wie Hauttemperaturmessung, Kalorimetrie und Messung der Wärmedurchgangszahl zwischen Körperkern und Haut, bietet die Registrierung der örtlichen Wärmeleitzahl grundsätzliche Vorteile, deren wichtigste hier kurz aufgezählt seien: 1. Unabhängigkeit von Körpertemperatur, Hauttemperatur und Raumtemperatur, 2. direkte Anzeige der Durchblutungsgröße, 3. Vergleichbarkeit verschiedener Körperstellen, 4. definierte und konstante Nullage, 5. geringe Trägheit der Messung.

Physiologisches Institut der Universität, Marburg a. d. Lahn, Deutschhausstraße 2

HERBERT HENSEL

Eingegangen am 30. August 1956

*) Hersteller: Hartmann & Braun AG, Frankfurt a. M.

[1]) BURTON, A. C.: Amer. J. Physiol. **129**, 326 (1940). Ferner in BURTON, A. C., u. O. G. EDHOLM: Man in a cold environment, S. 75ff. London 1955.

[2]) BÜTTNER, R.: Strahlenther. **55**, 333 (1936).

[3]) GIBBS, F. A.: Proc. Soc. Exper. Biol. a. Med. **31**, 141 (1933). — GRAYSON, J.: J. of Physiol. **118**, 54 (1952). — HENSEL, H.: Ber. Physiol. **162**, 360 (1954).

[4]) HENSEL, H., u. K. D. BOCK: Pflügers Arch. **260**, 361 (1955).

[5]) HENSEL, H., u. J. RUEF: Pflügers Arch. **259**, 267 (1954).

Über das Verteilungsmuster von Mitochondrien und Lipoidtropfen während der Furchung des Eies von Ilyanassa obsoleta (Mollusca, Prosobranchia)

Da verschiedene Eitypen [Tubifex[1]), Limnaea[2]), Aplysia[4]) und Ascidien[3])] spezifische Keimregionen mit mitochondrienreichem Zytoplasma besitzen, untersuchten wir die Verteilung von Mitochondrien und Lipoidtropfen in der Frühentwicklung

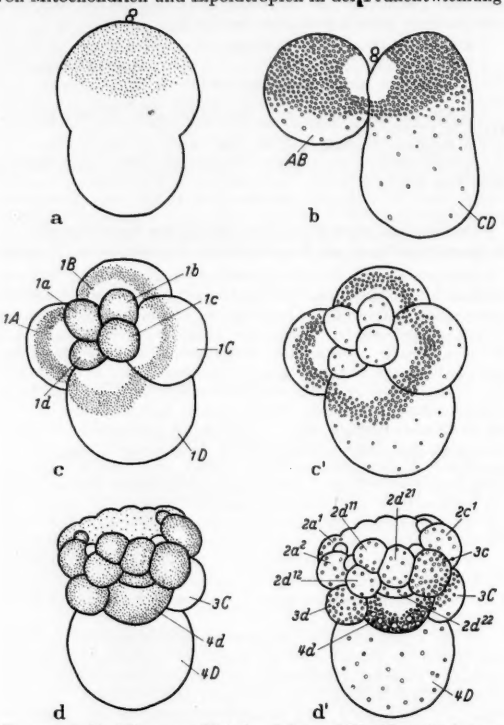


Fig. 1 a—d. Verteilung von Mitochondrien und Lipoidtropfen bei verschiedenen Entwicklungsstadien des Keimes von Ilyanassa, gezeichnet nach Protokollskizzen, Vergrößerung etwa 190fach. *a* Beginnende erste Furchungsteilung mit Pollappen, in Seitenansicht (Mitochondrien). *b* Zweizellenstadium in Seitenansicht (Lipoidtropfen). *c* und *c'* Erstes Mikromerenquartett, vom animalen Pol gesehen. *d* und *d'* Zellmuster des Keimes nach Bildung des Mesentoblasten 4*d*. Einzelheiten s. Text. Mitochondrien durch feine Punktierung, Lipoidtropfen durch kleine Kreise angegeben

von Ilyanassa[5a]). Die Kriterien der Mitochondrien sind gegeben durch ihre relative Größe und ihre Färbbarkeit mit Janusgrün (1:100000) oder OsO_4. Die mit Janusgrün gefärbten Mitochondrien können durch Zentrifugierung in einer gut begrenzten Schicht angehäuft[5b]) und durch OsO_4 samt der Farbe

fixiert und in Glyzerin untersucht werden. *Das mitochondrienreiche Zytoplasma* ist während der Eireifung hauptsächlich um den animalen Pol in der Zytoplasmakappe angehäuft (Fig. 1a). Nach der zweiten Zellteilung sammeln sich die Mitochondrien in jeder der vier Zellen A, B, C und D in einem sichelförmigen Band zwischen der Zytoplasmakappe und der Dotterzone. Die Zellen der drei aufeinanderfolgenden Mikromerenquartette erhalten alle reichlich Mitochondrien. Die Makromeren behalten während dieser Periode die zonale Anordnung der Mitochondrien (Fig. 1c). Die Mesentoblastzelle 4*d* übernimmt ebenfalls viele Mitochondrien (Fig. 1d), und zugleich verschwindet die sichelförmige Mitochondrienzone in 4*D* völlig (Fig. 1d). Die Entoblasten des vierten Quartetts (4*a*, 4*b* und 4*c*) erhalten ebenfalls viele, die Zellen 4*A*, 4*B* und 4*C* dagegen relativ wenige Mitochondrien. *Die zonale Verteilung der mit Sudanfärbung oder OsO_4 nachweisbaren Lipoidtropfen* ist anfänglich derjenigen der Mitochondrien auffallend ähnlich. Die Lipoidtropfen sind beim ungefurchten Ei und beim Zweizeller um den animalen Pol angehäuft (Fig. 1b) und fallen in einem Gradienten gegen den Äquator ab. Ebenfalls während des Vierzellenstadiums ordnen sich die Lipoidtropfen in einem intensiv färbbaren Gürtel ähnlich dem der Mitochondrien an. Die Zuteilung der Lipoidtropfen auf die Mikromeren erfolgt aber in einer abweichenden Weise. Sehr wenig Lipoidtropfen gehen in die Zellen des ersten Quartetts (Fig. 1c′), etwas mehr in das zweite und zahlreiche mitsamt einigen Dotterkörnern in das dritte Quartett. Der Mesentoblast 4*d*, der einige Stunden vor den Zellen 4*a* bis 4*c* entsteht, erhält nahezu alle Lipoidtropfen des Bandes von 3*D*, so daß 4*D* keinen Halbmond mehr besitzt (Fig. 1d′). Die Teilung von 3*A*, 3*B* und 3*C* führt dagegen zu einer relativ gleichartigen Verteilung von Lipoidtropfen. — Die Eifurchung von Ilyanassa zeigt somit in sehr deutlich und gut reproduzierbaren Farbreaktionen ein charakteristisches Muster mitochondrienreichen Zytoplasmas, das den Mikromeren relativ *gleichmäßig* zugeteilt wird. Die Verteilung ist insofern *differentiell*, als die Entoblasten 4*A* bis 4*D* wenig Mitochondrien erhalten. Die Lipoidtropfen sind in einem analogen Muster angeordnet, werden aber gefälleartig auf die drei Quartette verteilt, und 4*d* erhält besonders reichlich Lipoidtropfen samt einigem Dottermaterial. Die hier dargestellten Vorgänge der Musterbildung von mitochondrienhaltigem Plasma und von Lipoidtropfen lassen Beziehungen zu morphogenetischen Prozessen noch nicht erkennen. Aber sie weisen deutlich auf komplizierte musterbildende Reaktionen hin, die zwischen verschiedenen Endoplasmabereichen und der Eirinde ablaufen. Diese Bereiche sind lichtmikroskopisch charakterisiert durch die verschiedene Massierung der Mitochondrien, der Lipoidtropfen und der Dotterkörner. Alle diese Gebilde sind, nach elektronenmikroskopischen Befunden an Tubifex zu schließen[1b]), in Reaktionsräumen von möglicherweise spezifischem Zytoplasma eingebettet[1a]). Das Verhalten dieser Gebilde ist deshalb von einiger Bedeutung für die weitere Analyse der Zytoplasmabewegungen.

Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass., USA

A. C. Clement*) and F. E. Lehmann**)

Eingegangen am 30. August 1956

*) Department of Biology, Emory University, Atlanta, Georgia, USA.
**) Zoologisches Institut der Universität, Bern (Schweiz).

[1]) Lehmann, F. E.: a) Tubifex, Eiorganisation und Entwicklung. Naturwiss. **43**, 289—296 (1956). — b) Kern und Zytoplasma, Feinbau. Erg. med. Grundlagenforsch. **1**, 111—137 (1956).
[2]) Raven, Chr. P.: Limnaea, Chemische Embryologie. Arch. néerl. Zool. **7**, 353—434 (1946).
[3]) Reverberi, G.: Ascidien, Mitochondrien. Experientia [Basel] **12**, 55 (1956).
[4]) Ries, E.: Eier wirbelloser Tiere, histochemisches Verteilungsmuster. Pubbl. Staz. zool. Napoli **16**, 363—401 (1937).
[5]) Clement, A. C.: a) Ilyanasssa, Normalentwicklung und Versuche am Pollappen. J. of Exper. Zool. **121**, 593—625 (1952). — b) Ilyanassa, Zentrifugierung. Biol. Bull. **69**, 403—414 (1956).

Blütenbildung von Bryophyllum durch Gibberellin

Die durch ihre blattbürtigen Brutknospen bekannten Bryophyllum („Brutblatt"-)Arten crenatum und daigremontianum blühen weder im kontinuierlichen Lang- noch Kurztag, sondern nur dann, wenn sich an eine Langtagbehandlung ein Aufenthalt im Kurztag anschließt. Sie sind also Lang-Kurztagpflanzen[1]). Sie lassen sich aber auch ohne Langtag durch folgende Behandlung zum Blühen bringen:

Von 9 Exemplaren von Bryophyllum crenatum, die zu je dreien in einem Blumentopf seit 1952 in einem Versuchsgewächshaus in ständigem Kurztag (9 Std) gehalten worden waren und den für diese Verhältnisse charakteristischen gestauchten Wuchs hatten[2]), wurde eine Pflanze (*A*) des Topfes 1 am 3. 7. 56 mit Gibberellin [eine Mischung von Gibberellinsäure und Gibberellin A, nachstehend Ga genannt[3])] behandelt. Der Pflanze wurde bis zum 20. 7. täglich ein Tropfen Ga-Lösung (50 mg/Liter) zwischen die obersten Blätter am Vegetationspunkt gegeben; ein zweites Exemplar des Topfes erhielt täglich einen Tropfen Flüssigkeit ohne Ga, und das dritte blieb unbehandelt. Der Topf verblieb weiterhin im Kurztag. Bei der Ga-Pflanze streckten sich die Internodien alsbald sehr stark in die Länge [ein Effekt, der nach Angaben in der Literatur zu erwarten war[4])], und am 31. 7. wurden Anlagen von Blüten erkennbar. Am 5. 9. (Zeitpunkt der Photographie, Fig. 1) waren zahlreiche Blüten vorhanden. Die

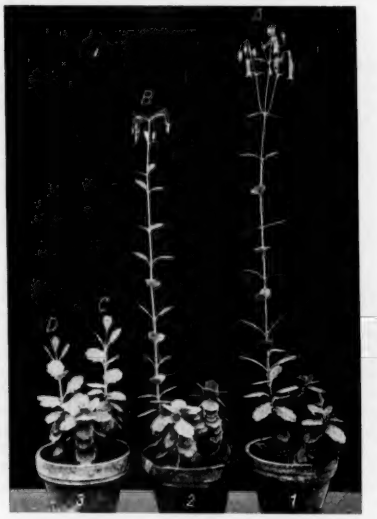


Fig. 1. Bryophyllum crenatum. Alle Pflanzen seit 1952 ununterbrochen in 9stündigem Kurztag. Pflanze *A* erhielt ab 3. 7. 1956, *B* ab 20. 7. und *C*, *D* ab 14. 8. täglich einen Tropfen Gibberellinlösung bis zum ersten Sichtbarwerden von Blütenstandsanlagen. Blütenbildung der Ga-Pflanzen bei weiterem Verbleib im Kurztag

anderen beiden Pflanzen sind bis heute gestaucht und vegetativ geblieben. Der Versuch wurde am 20. 7. mit den drei Exemplaren des zweiten Topfes (Pflanze *B* erhielt Ga) und am 14. 8. mit denen des dritten Topfes wiederholt, wobei im Topf 3 zwei Pflanzen (*C*, *D*) Ga erhielten. Der Erfolg war der gleiche wie bei Topf 1. Bei den Pflanzen *C* und *D*, an denen bei der photographischen Aufnahme am 5. 9. erst die erste Internodienstreckung sichtbar war, war der Beginn der Blütenbildung eine Woche später eindeutig erkennbar. Ob das Blühen durch Ga auch im Langtag erfolgt, prüfen wir zur Zeit noch. — Zwei Exemplare von Bryophyllum daigremontianum reagierten entsprechend, nur langsamer.

Die beiden Bryophyllumarten kommen also unter Bedingungen, die sonst nur vegetatives und gestauchtes Wachstum gestatten, durch Ga zur Internodienstreckung und, was wichtiger ist, zum Blühen.

Einen ähnlichen Effekt hat kürzlich Lang bei der zweijährigen Rasse von Hyoscyamus niger (Bilsenkraut) erzielt. Im Gegensatz zu Bryophyllum blüht Hyoscyamus im Langtag, aber nur dann, wenn eine Kältebehandlung (Vernalisation) voraufgegangen ist. In Langs Versuchen streckten sich die rosettenförmigen Pflanzen auch ohne Vernalisation nach Ga-Behandlung in die Länge[4a]) und bildeten bei Aufenthalt im Langtag auch Blüten[4b]). Außerdem hat Lang noch mit der einjährigen Rasse von Hyoscyamus gearbeitet[5]), die auch nur im Langtag zum Blühen kommt, und zwar ohne Vernalisation; bei ihr machte die Ga-Behandlung Bildung von Blütenknospen im Kurztag möglich, wenn auch nur sehr verzögert und, so weit bisher bekannt, ohne Entfaltung der Blüten. Wenn man zum Blühen von Hyoscyamus zwei Komponenten

(„Vernalin" und „Florigen") als notwendig annimmt[4b]), so würde nach den publizierten Mitteilungen von LANG[4]) das Ga die Wirkung des Vernalins übernehmen, nach seiner brieflichen Angabe[5]) dazu aber auch noch — wenigstens bis zu gewissem Grade — die des Florigens. Bei Bryophyllum muß der die Blütenbildung auslösenden Kurztagexposition eine Langtagwirkung vorausgehen — die auf Wuchsstoffwirkung oder anderem beruhen mag —; ihre Funktion läßt sich nach unseren Versuchen also durch Ga ersetzen; ob Ga auch die Rolle der eigentlichen Blüteninduktion im Kurztag (Florigen) übernehmen kann, müssen die Ergebnisse im Gang befindlicher Versuche zeigen.

Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Göttingen, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität

R. BÜNSOW und R. HARDER

Eingegangen am 11. September 1956

[1]) RESENDE, F.: Rev. Fac. Sci. Lisboa (2c) 3, 447 (1953).
[2]) DENFFER, D. v.: Jb. wiss. Bot. 89, 543 (1941).
[3]) Für die zweimalige Überlassung des Gibberellinpräparates danken wir Herrn Professor Dr. A. LANG, Los Angeles, besonders herzlich.
[4]) LANG, A.: Naturwiss. 43, a) 257, b) 284 (1956).
[5]) LANG, A.: Briefliche Mitteilung.

Besprechungen

Finkelnburg, Wolfgang: Einführung in die Atomphysik. Vierte, verbesserte u. ergänzte Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1956. Gr.-8°. XI, 545 S. u. 266 Abb. Gzl. DM 45.—

Die 3. Auflage ist in dieser Zeitschrift [Naturwiss. **42**, 543 (1955)] ausführlich besprochen worden, so daß hier darauf verwiesen werden kann. Die vorliegende 4. Auflage ist gegenüber der 3., die stark erweitert worden war, nur wenig verändert; abgesehen von kleineren Verbesserungen ist z. B. das Kapitel „Kernkräfte und Theorie der Elementarteilchen" umgearbeitet worden.

Die Tatsache, daß von 1948 bis 1956 nicht weniger als 4 Auflagen erschienen sind, zeigt besser als alles andere die Güte und die Beliebtheit des Buches. Dieser Erfolg ist einmal der Liebe zu verdanken, die der Verf. zu seinem Stoff besitzt und die auch den Leser gefangen nimmt, und zum andern seiner großen pädagogischen Begabung. Er versteht es ausgezeichnet, durch die Art der Darstellung und durch geschickte bildliche Erläuterungen (Figuren, Schemata, Tabellen) den Leser auch in schwierige Zusammenhänge leicht eindringen zu lassen und ihn stets auf das Wesentliche hinzuführen. Der Gefahr, durch die schier verwirrend große Fülle des Stoffes erdrückt zu werden, ist der Verf. durch klare und übersichtliche Unterteilungen entgangen. Sehr angenehm sind die Literaturangaben am Schlusse jedes der 7 Hauptabschnitte.

Als Einführung in das Gesamtgebiet der heute im Vordergrund des Interesses stehenden Atomphysik wird das Buch auch in der neuen Auflage zu seinen alten Freunden viele neue gewinnen. E. LAMLA (Göttingen)

Scheffer, F., und P. Schachtschabel: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. I. Teil: Bodenkunde, 4. neubearb. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke 1956. 250 S. mit 31 Abb., u. einer Farbtafel. Gzl. DM 27,70.

Die 4. Auflage wurde durch Aufnahme neuer Kapitel und durch Umgestaltung der übrigen völlig neu bearbeitet. Die fast handbuchartige Fülle des Stoffes in dem Rahmen eines Lehrbuches zu behandeln, erforderte eine straffe, oft sehr konzentrierte Darstellung, die jedoch durch eine Reihe neu aufgenommener Abbildungen in vorteilhafter Weise ergänzt wird. Bei geringfügiger Erweiterung wurde die allgemeine Bodenkunde besonders betont. Die beträchtliche Vermehrung der Literaturangaben wird besonders der wissenschaftlich Arbeitende begrüßen.

Im Teil „Entstehung des Bodens" (34 S.) werden Zusammensetzung und Verwitterung der Gesteine sowie Zusammensetzung der organischen Substanz und Eigenschaften der Humusstoffe beschrieben. Die Tonminerale folgen erst im zweiten Teil; eine Charakterisierung des organischen Ausgangsmaterials ist wohl für den Band III vorgesehen. — Im Hauptteil „Faktoren der Bodenfruchtbarkeit" (141 S.) werden Bodenmerkmale und Bodendynamik in ihrer Bedeutung für den Pflanzenwuchs erschöpfend dargestellt. Die Kapitel behandeln die Körnung des anorganischen Bodenanteils und dessen Mineralzusammensetzung (besonders ausführlich die Tonminerale und sehr klar ihre Bildung), sehr eingehend Ursachen der Ionenbindung (besonders an Tonmineralen) und Verlauf des Ionenaustausches (mit sehr interessanten Hinweisen auf die bodenkundliche Bedeutung von Sorptionsgleichgewichten), Koagulation und Peptisation (in sehr klarer Weise behandelt), Bodenreaktion (unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Kulturböden) und Ton-Humus-Verbindungen. Neu ist ein kurzes Kapitel über Redox-Eigenschaften, sehr zu begrüßen auch ein neues, sehr anschaulich geschriebenes Kapitel über die Bodenstruktur. Im Kapitel „Bodenwasser" wird die energetische Betrachtung besonders hervorgehoben (die Theorie der osmotischen Wasserbindung und -bewegung wurde verlassen). Es folgen ein Kapitel über die Bodenluft und ein neues über die Bodentemperatur. Das 12. Kapitel behandelt Arten und Leistungen der Bodenbewohner. Den Abschluß dieses Teiles bildet ein neues Kapitel über die Pflanzennährstoffe im Boden: Bindung der Makronährstoffe (K und P etwas ausführlicher) und Mikronährstoffe (unter ihnen auch Co) im Boden und Charakterisierung des Versorgungsgrades. — Der Teil „Entwicklung der Bodentypen" ist trotz der Kürzung (auf 12 S.) sehr klar geschrieben. Unter den Faktoren der Bodenentwicklung sind Erosion, Grund- und Stauwasser weggelassen worden, neben Klima, Ausgangsgestein und Relief aber Vegetation und menschliche Tätigkeit noch gesondert aufgeführt. Eine kurze bodengenetische Betrachtung schließt sich an. — Daß die „Bodentypen Mitteleuropas" im Teil D (39 S.) auf der Grundlage der Vorschläge der Kommission für Bodensystematik der DBG beschrieben werden, ist im Interesse einer Vereinheitlichung der Nomenklatur sehr zu begrüßen. Das erste Kapitel behandelt die Landböden, das zweite die Grundwasser- und das dritte kurz die Unterwasserböden. Ferner werden in eigenen Kapiteln Moorböden, Salz- und Alkaliböden, fossile und Reliktböden sowie Kulturböden beschrieben. Bei den einzelnen Bodentypen werden die pedologischen Probleme der Bodenentwicklung stärker betont als die ökologische der Bodennutzung (mit Ausnahme der Hochmoorkultivierung). — Den Abschluß bilden kurze Teile: „Kurzgefaßte Systematik der Böden Mitteleuropas", „Bodenbewertung", ein Anhang über die Bezeichnung der Bodenhorizonte und ein umfangreiches Stichwortverzeichnis.

Bei der Fülle des gebotenen Stoffes erscheint eine Vermehrung kaum möglich. Von Nutzen könnte aber eine kurze Darstellung der Verlagerungsvorgänge sein. Zu erwägen wäre auch, ob künftig nicht eine etwas schärfere Trennung zwischen Boden und Gestein (z. B. Tabelle 11) und klarere Gliederung der Moorböden durchgeführt werden könnte. Ferner wären gewisse Widersprüche zwischen der Schilderung des Einflusses der Kationenbelegung auf die Hydratation von Kolloiden (S. 71) und der Tabelle 28 zu beseitigen. Dem Rezensenten erscheint auch der Boden in dem Abschnitt „Bodenbildung" (als Bestandteil des Kapitels „Anorganische Komponente" im Teil „Entstehung des Bodens") im Widerspruch zur auf S. 1 gegebenen Definition etwas einseitig als Verwitterungsphänomen gesehen. Vielleicht wären ferner die Vorgänge der Peptisation und Koagulation sowie Quellung und Schrumpfung trotz ihrer Beziehung zu der Kationenbindung bzw. dem Wasserhaushalt im Rahmen der „Bodenstruktur" zu behandeln.

Das Werk vermittelt einen sehr guten Überblick über den Stand der bodenkundlichen Forschung. Seine allgemeine Wertschätzung geht aus der Tatsache hervor, daß die 3. Auflage in wenigen Jahren vergriffen war. Durch die Neubearbeitung hat es überdies — zumal für den wissenschaftlich Arbeitenden — sehr gewonnen. E. SCHLICHTING (Kiel)

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany

MIKROSKOPE FÜR FORSCHUNG UND PRAXIS

VERLANGEN SIE BITTE DRUCKSCHRIFT 30/L9 D1 **JENOPTIK JENA G.m.b.H., Jena**

Impulstechnik

Vortragsreihe des Außeninstituts der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg in Verbindung mit dem Elektrotechnischen Verein Berlin e.V. Vorträge von Dipl.-Ing. W. Bruch, Hannover, Priv.-Doz. Dr. W. Dieminger, Lindau i. Harz, Dr. H. Fack, Braunschweig, Dr. F. A. Fischer, Darmstadt, Priv.-Doz. Dr.-Ing. P. K. Hermann, Berlin, Dr.-Ing. H. Holzwarth, München, Dr.-Ing. E. Kramar, Stuttgart, Professor Dr. W. Kroebel, Kiel, Priv.-Doz. Dr. W. Meyer-Eppler, Bonn, Priv.-Doz. Dr. A. Speiser, Zürich. Im Auftrag des Außeninstituts der Technischen Universität zusammengestellt und bearbeitet von Priv.-Doz. Dr.-Ing. F. Winckel, Berlin. Mit 242 Abbildungen. VIII, 346 Seiten Gr.-8°. 1955. Ganzleinen DM 37.50

Inhaltsübersicht: **Impulsanalyse.** Von Dr. F. A. Fischer, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt. — **Anwendung der Informationstheorie auf Impulsprobleme.** Von Priv.-Doz. Dr. W. Meyer-Eppler, Universität Bonn. — **Die Impulstechnik als Meßverfahren in der Physik.** Von Professor Dr. W. Kroebel, Neue Universität, Kiel. — **Probleme der Mehrfachausnützung von Nachrichtenwegen mit Pulsmodulation.** Von Dr.-Ing. H. Holzwarth, Siemens & Halske A.G., München. — **Die Impulstechnik des Fernsehens.** Von Dipl.-Ing. W. Bruch, Telefunken GmbH, Hannover. — **Die Anwendung der Impulstechnik in der Funknavigation.** Von Dr.-Ing. E. Kramar, C. Lorenz A.G., Stuttgart. — **Impulsverfahren in der Ionosphärenforschung.** Von Priv.-Doz. Dr. W. Dieminger, Institut für Ionosphärenforschung der Max-Planck-Ges., Lindau i. Harz. — **Impulsprobleme der elektronischen Rechenmaschinen.** Von Priv.-Doz. Dr. A. Speiser, Technische Hochschule, Institut für angewandte Mathematik, Zürich. — **Optische Impulstechnik.** Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. P. K. Hermann, Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin. — **Die Impulsübertragung im Nervensystem.** Von Dr. H. Fack, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig. — **Informationstheoretische Behandlung des Gehörs.** Von Dr. H. Fack, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig. — **Sachverzeichnis.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Nach dem großen Erfolg der 1. Auflage erscheint jetzt als berichtigter Neudruck

Elektronische Halbleiter

Eine Einführung in die Physik der Gleichrichter und Transistoren

Von Dr. Eberhard Spenke, Pretzfeld i. Oberfranken. Berichtigter Neudruck. Mit 186 zum Teil mehrfarbigen Abbildungen. XX, 386 Seiten. Großoktav. 1956. Ganzleinen DM 34.50

Unentbehrlich für den Fachmann in der Halbleiterphysik

Mit diesem Buch hat Spenke dem 1950 erschienenen bekannten Werk von Shockley „Electrons and holes in semiconductors" eine zweite umfassende Darstellung der Halbleitung gegenübergestellt, die infolge ihrer Eigenart und Gründlichkeit nicht nur in Deutschland größte Beachtung finden wird ...

Das Werk ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Der erste Teil „Leitungsmechanismus der elektronischen Halbleiter und die Physik der Gleichrichter und Transistoren" besteht aus fünf Vorträgen, die der Verfasser für einen größeren Hörerkreis gehalten hat, um die physikalischen Vorgänge in den neuzeitlichen Bauelementen der Hochfrequenztechnik, den Halbleitergleichrichtern und -verstärkern, verständlich zu machen ...

Es gelingt dem Verfasser mit klaren und relativ einfachen Betrachtungen und Rechnungen die zum Teil doch sehr schwierigen Begriffe, wie z. B. die der verschiedenen Störstellenmodelle oder des Defektelektrons (negative effektive Massen), herauszuschälen. Daß das 4. Kapitel über die Gleichrichtung weitgehend auf eigene Arbeiten des Verfassers zurückgreift, gibt ihm eine besondere Note. Dieser erste Teil schließt mit der Betrachtung des Transistors als Kombination zweier Gleichrichter ...

Der zweite Teil gibt in fünf weiteren Abschnitten die quantenmechanischen und statistischen Grundlagen der Halbleiterphysik, und zwar werden im einzelnen behandelt: Näherungsmethoden in der Quantenmechanik des Wasserstoffmoleküls, das Bändermodell, die Fermistatistik der Kristallelektronen, die dynamische Auffassung von Störstellengleichgewichten und die Trägheit von Störstellenreaktionen und schließlich im letzten Abschnitt die Randschichten in Halbleitern und der Kontakt Halbleiter—Metall ...

Das Buch wird allen in der Technik arbeitenden Fachleuten auf dem Halbleitergebiet eine vertraute und kaum mehr entbehrliche Hilfe sein ...

Archiv der elektrischen Übertragung

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG